行政院農業委員會農業試驗所特刊127號

生物技術與綠色農業 研討會專刊

TARI LIB.
C005909

主　編　林俊義　戴振耀
　　　　蔡武雄　廖慶樑

執行編輯　簡宣裕　張明暉　劉禎祺

補助單位：行政院農業委員會農糧署
主辦單位：行政院農業委員會農業試驗所
　　　　　中華永續農業協會

行政院農業委員會農業試驗所
中華永續農業協會　編印

中華民國九十五年十二月

中華永續農業協會第七屆第一次會員大會暨
生物技術與綠色農業研討會 九十五年六月十六日於國立中興大學圖書館國際會議廳

行政院農業委員會農業試驗所特刊 127 號

生物技術與綠色農業研討會專刊

主 編 林俊義 戴振耀
蔡武雄 廖慶樑
執行編輯 簡宣裕 張明暉 劉禎祺

補助單位：行政院農業委員會農糧署
主辦單位：行政院農業委員會農業試驗所
中華永續農業協會

行政院農業委員會農業試驗所
中華永續農業協會
編印

中 華 民 國 九 十 五 年 十 二 月

目　　　錄

戴振耀理事長序-----------------------------------Ⅰ

林俊義所長序-------------------------------------Ⅱ

生物技術在綠色農業發展上之應用與展望（鄒篪生特聘研究員）--1

微生物肥料與綠色農業之研究與發展（楊秋忠教授）----11

生物防治與綠色農業之研究與發展（謝廷芳主任）----19

生物性農業資材開發與利用之方向（簡宣裕研究員）----29

適合臺灣栽培之能源作物的研發方向（楊金興博士）---37

生質酒精之生產與利用（林昀輝研究員）-----------57

臺灣潛在的生質柴油料源對其產出生質柴油物性的

探討（李唐主任研究員）--------------------------67

耐高溫菌在環保農業之利用（楊盛行教授）-------- 75

農業廢棄物之利用與環保（周昌弘主任）------------------103

稻米產銷對環保及健康之功能（張學琨博士）---------------117

戴 序

生物技術具有低耗能、資源再生利用、低污染、生產高附加價值產品與環境生態和諧的功能特性，可以滿足綠色農業生產的要求及目標。政府及業界近幾年來推動農業生物技術，獲得相當多的成果與發展，如品種改良、病蟲害防治、種苗開發、生物性農業資材與肥料的開發及利用、生物遺傳資源的保存及改良等，都已有非常良好的基礎，此亦關係著未來綠色農業的發展。當前我們有幾個重要的挑戰，包括國際的競爭、國內外消費者對農產品品質的要求、生活環境與生態的迫切維護及能源缺乏之危機，故推動農業生產與生態環境和諧發展，利用有限的生產資源及減少消耗能源並開發新能源，讓農業能永續經營，是目前迫切需要進行的工作。綠色農業是生產結構合理化、對自然資源的最佳運用和高效率的利用，以得到健康與高品質之農產品，是結合傳統農業精華，配合應用現代科學知識和技術，使得人類與自然和諧共處，導向良性循環的可持續發展之農業，因此，綠色農業乃解決目前農業困境，開創出未來農業發展與新格局的方向及目標。

中華永續農業協會為了積極推行農業永續經營的理念，在行政院農業委員會農糧署的經費支持下，與行政院農業委員會農業試驗所及國立中興大學合作辦理，特別舉辦「生物技術與綠色農業」研討會，邀請主導農業政策之政府官員、學有專精之大學教授與研究人員以及具有實務經驗之專家，講授生物性農業資材與綠色農業之發展、生物技術與能源農業、生物技術與環保農業，生物技術應用於綠色農業發展之新思維，並邀請實際從事農業生產的相關人員及農民參與。各授課專家之講稿，特彙集編印成「生物技術與綠色農業」專刊，不但可以讓從事綠色農業經營之農民，獲得所需要的生物技術知識，以加速綠色農業的推展；而且，專刊的精闢內容，亦可作為政府推動永續農業施政的依據，甚具參考價值，茲值付梓，特為之序。

中華永續農業協會前理事長
農村發展基金會董事長　　**戴振耀**　謹識

中華民國九十五年十二月

林 序

近代化學農藥與肥料及合成農業資材發明以後，雖然提高了農作物的產量，創造了所謂農業生產奇蹟，但化學農藥與肥料的不當施用，以及非可再生利用之農業資材使用，對環境及國民健康所帶來負面的影響，近年來已受到大家的注意。而綠色農業正代表著無污染、無公害、健康、安全及可持續發展的農業經營方式。綠色農業的生產，不但可解決經濟自由化及國際化所帶來的衝擊，且能提昇農業之競爭力，對我國農業之永續經營與發展將有極大助益，是今後農業的重點發展方向。

生物技術是二十一世紀最具發展潛力的科技，關乎我國未來經濟發展的命脈，對於未來農業經營的轉型及競爭力的提昇，有決定性的影響與幫助。生物技術於農業上之應用範圍廣泛且潛力無限，然有鑒於工業革命對農業環境之負面影響，故生物技術必須讓農業發展為綠色產業，才能顯現其應用價值。

中華永續農業協會過去即推展減用化學肥料及農藥，倡導實施適當輪作制度及非農藥病蟲害防治，循環利用農業資材及維護資源保育等農業永續經營措施，此與綠色農業之理念相符。本次舉辦「生物技術與綠色農業研討會」，邀請國內產、官、學界及相關之學者專家探討如何將生物技術應用於生物性農業資材、替代汽油能源及環保農業之開發與推行，以期達到綠色農業之生產目標。茲將研討會中各專家學者精闢演講內容編輯成專刊，對未來生物技術與綠色農業之發展極有助益，可提供政府施政及各界之參考，時值付梓之際，特為之序。

行政院農業委員會農業試驗所所長

中華永續農業協會理事長　　**林俊義**　謹識

中華民國九十五年十二月

生物技術在綠色農業發展上之應用與展望

李宜映、殷正華、李昌鴻、鄒篪生

財團法人國家實驗研究院科技政策研究資訊中心

摘　要

由於農用工具與技術的進步，農業由原始「天人合一」的自然生態逐漸轉變為「人定勝天」的科技農業。為使自然資源不致因此破壞而枯竭，必須以綠色農業為發展目標，以達到永續經營的目的。然而面臨糧食危機及生活變遷等挑戰，如何在滿足人類需求的同時，又能兼顧生態平衡，生物技術將是必要的手段之一。因此，各國紛紛透過前瞻計畫，預測生物技術對農業所造成之衝擊，以及未來 20-30 年後的情境預測。其中，日本每五年進行一次的科技前瞻，為永續農業提供了五種策略方向：1.糧食安全：面臨 2025 年可能發生之糧食危機，可以利用基因操作等提高光合作用以增進作物產量，並積極開發水產糧食來源；2.減少殘毒：開發生物性農藥或利用溶磷、固氮菌提高土壤肥力，預計在 2015 年可以將農藥化肥用量減半，同時配合生物復育技術，以分解環境中有毒物質；3.增進健康：根據個人體質或族群特性，設計各種機能性食品以預防疾病；4.食品安全：透過宣導使民眾對 GMO 有正確觀念，提供消費者自行選擇的權力，並開發各種家用分析檢測工具，以保障消費安全；5.產銷整合：面對全球化競爭壓力，必須扭轉小農之經濟劣勢如推動法人化農業機構，或提高農產品質如推動生產履歷制度。結合前瞻概念與技術地圖的實現，綠色農業所追求的永續境界將指日可期。

前　言

世界各國對「綠色」之一詞，多詮釋象徵為「和平」，國際綠色和平組織即為一例。農業為一個兼顧生態、生產及生活之「三生」產業，在其本質下，致力於自然生態的維護與增進人類健康及生活品質之永續發展為主要願景及目標。因此「綠色農業」是建立於以追求和平、自然、健康為訴求的現代農業型態。最早對於農業的解釋起於辭海「辟土耕作之業曰

農」，國際對 Agriculture 的注釋為「The technology and art of raising crops」。

這種解釋雖以描述傳統農業為主，但仍無疑的表達農業是一個人類的經濟行為，目的在確保人類物種的生存及繁延。因此農業被認為人類最早的產業，實際上藉由農業規模亦決定了世界人口的數量。因為農業的發展創造了人為生態，人類的發展可跳脫自然生態的法則而成為有異於其他物種的高等動物，主宰了地球的資源。而自然生態所強調之物種多樣化的自然平衡，面對追求單一物種生產效率的人為生態，如何取得兩者之間平衡又能滿足人類的需求，實為目前政府發展永續農業面對之重要課題。

農業的轉變

由十七世紀迄今，細觀農業，不論在基礎科學、機械工具或經營模式都有明顯的演進和改變。在傳統農業時代，農業技術是一種依賴經驗傳承的技藝，利用此技藝以天然的物種為材料，透過自然資源的選拔及擴散之育種方式來創造人為生態，此種產業型態以自給自足為主，可視為「靠天吃飯」。基本上此階段之農業對自然生態的衝擊，仍在自然界復育的能力之內。十九世紀歐洲的工業革命導致農業技術上的質變，工業產品如化肥、農藥、農機、水利等大量運用在農業。遺傳學也在十九世紀成熟，致使農業所採用的物種也由自然選拔改變成以雜交方式依人類的需求所育成。傳統農業因而質變成「科技農業」。雖然技術的改良不僅大幅提升農業的生產效率，同時帶動生態及生活的改變，包括農業科學化、農產品的商品化，間接促成農業金融之興起及農業勞力的釋出。

但在此一效應下，提高了人為生態對自然生態的衝擊，除了促進都市化而改變人類的膳食型態，農業與工商業競爭使得農業成為劣勢產業，進而拉大南北方經濟之發展差距，美國的大農企業亦趁勢崛起。科技農業型態在產業上雖達到「人定勝天」的境界，但實質上對環境的破壞埋下不可逆的負面傷害。由於此一生態衝突到 1980 年代達到頂點，至 1990 年代乃有「永續農業」觀點之興起，認為農業應兼顧經濟的成長、環境的永續與人類的繁延之三大訴求的生活方式。

二十世紀末由於數位革命及資訊技術的快速發展，開啟知識經濟的大門，農業再次面臨轉型的壓力。此時分子生物學的興起逐漸取代過去以遺傳學及生理學為基礎的農業思考模式，所用的工具則以生物技術為主。再者，經營模式融入農業資訊、生技、設計等概念，整合成為新興的「知識農業」。生物技術已成為各國致力發展的新興科技技術，在永續農業的前

提下，如何在滿足人類需求的同時，利用生物技術以減少人為生態對自然生態的衝擊，達到「天人合一」的境界，為知識農業致力發展的目標，才能維持自然生態的永續平衡。

全球變遷衝擊與永續發展

美國國會在 1990 年曾對永續農業定義如下，即永續農業是作物與畜禽生產的整合系統，此一系統在維持長期的人類糧食與纖維物質的不斷供應、維護環境與資源的優良品質，有效結合不可更新資源與其他農場資源在生態循環與經濟利用之間取得平衡，並增進整體社會與人類的生活品質。由上面所述，永續農業可視為一個植物與動物生產程序中的整合系統，然而要達到農業永續的經營，推動綠色農業為主要的發展目標。在綠色農業的理念下，綜觀二十一世紀，全球農業所面臨的新挑戰以及發展的新方向，可從下面各點加以探討分析:

一、國際糧食安全問題：

我國已加入世界貿易組織，因為貿易自由化後，糧食自給率的重要性已相對減少。但是回顧過去全球糧食供應，聯合國發佈在 1999 年底世界人口將達到六十億，而專家預估在 2050 年時，全球將有九十億的人口，糧食生產的壓力更甚於先前。再者，開發中國家人口成長以及所得提升，對畜產品之需求增加，致使國際穀物受到人類及畜禽的需求而使價格高漲。國際有識之士憂慮，在二十一世紀，因全球人口持續增加，農業資源分配不均，氣候異常所產生的糧食供應問題將有再度發生「糧食危機」的可能。以日本為例，實際上日本對全球糧食之展望相當悲觀，認為在 2025 年左右，可能成為國際糾紛原因之一。因此，維持基本糧食生產被世界各國列為生存與發展的必要策略，我國更不能例外。此一概念在綠色農業，強調「和平」的價值觀前提下，是一重要的考量因子。

二、農產品安全問題：

由於目前我國已邁入已開發國家的行列，工商業高度發展，2001 年每人每年平均所得已超過 12,800 美元，因此國人對農產品的消費型態將會有急遽的轉變。加上農產品貿易自由化，消費者對農產品的需求趨向多元化，講究高品質及衛生安全，尤其更重視產品與服務。面對此一新情勢，國內農產品的產銷，需有一套完整的檢驗、檢疫、品牌、標章的嚴格機制，才能樹立我國農產品安全衛生、優良品質的新形象，更能獲取國內外消費者的支持與信賴。另一方面，鑒於現今世界糧食不足，基因改造食品的技術也因此漸漸起飛，基因改造成為食物生產的主流。許多超市的架上也都

佈滿了基因改造食品(GMO)。相較於美國，歐盟對於 GMO 食品的安全性，對環境產生的危害，道德的認定，對社會經濟的衝擊等，所以對於此項基因工程大家仍有很多的疑慮與顧慮。此時農業生物技術引發的另一項重要爭議，就是生物技術之發展與運用究竟會對農業與食品產業產生怎樣的衝擊。雖然生物技術所帶來的產品充滿潛力，但仍擺脫不了又一波人為生態衝擊的疑慮。

三、環境與自然生態之損害：

農業是利用自然資源生產之產業，如果人為生態所開發的工具，與自然生態爭取過多的資源，其「天人交戰」之結果伏下了自然界對人類反撲的危機。過去在經濟發展過程中，機械革命帶來的工業用品，包括現代化農用化肥、農藥與農用機械的使用，使得林地及山坡地過度或違法開發利用，嚴重影響了涵養水源及水土保持的功能；部份沿海地區亦過度超抽地下水供養殖使用，導致地層下陷。另外農業部門及工業部門均有大量廢棄物及廢水的排放，使土地資源及水資源受到污染；不但破壞生態環境，亦危害國人健康，更威脅到國人生命財產的安全。另一方面，農用資材燃燒氣化在高空大氣層中，經常會製造二氧化碳，除了會污染大氣層亦會阻礙地球表面的散熱作用，形成溫室效應而導致氣候變遷，由於氣候對農作物生產的影響甚大，在此惡性循環下，糧食安全及農產品安全的問題也逐漸浮現。近年來國際上生態保育及環境維護皆擁有地球村的觀念，聯合國「氣候變化綱要公約」、「生物多樣性公約」、「森林原則」等國際規範的訂定以及 2002 年在南非約堡召開「地球永續發展高峰會議」後，所通過的宣言及行動計畫，顯示生態保育及環境維護，已形成全球性的政策措施且為各國應履行國際責任。

四、人類生活型態的變遷：

由於低出生率、低死亡率，使得全球人口已邁入高齡化的社會結構。加上工商業與經濟的發達，雖然在發展中城市提供大量的水果與蔬菜，但是現代人對食物的攝取漸走向精緻化，造成營養素攝取不平衡。加上年齡的增長，而發生各種生理機能的改變及衰退，許多已開發甚至開發中國家，已開始出現人口老化及慢性病患增加的現象。鑒於此，世界糧食組織對於糧食安全的定義，已由過去的確保所有的人在任何時候，對於糧食的直接和間接的基本需求都能夠得到滿足，逐漸轉變為現在所有人在任何時候，皆可獲得健康生活所需的充足、安全和富有營養的食物的重要概念。因此，均衡的飲食及適當的攝取營養素，可以減少很多健康問題的發生。

生物技術應用在農業之科技前瞻

90 年代生物科技的崛起，使農產業跳脫了傳統的變化模式，對社會、環境、經濟也造成不小的衝擊。為了因應新經濟時代來臨所帶來農業的質變，各國政府為了解各國生物技術在科技農業的應用願景，分別透過科技前瞻的分析，了解生物技術在農業之發展情境與方向。所謂「科技前瞻」是科技策略規劃工具之一，透過前瞻計畫之推動過程，使產、官、學、研界之間形成共識，而使科技資源達到整合及互動的功能，並藉此提供該國在未來特定領域之基礎研究情境，以供各國政府決策單位之科技資源分配之參考。目前全球已有超過四十個國家進行前瞻技術預測，透過此工具的運用希望能達到提昇科技競爭力、合理分配預算，以及透過溝通與共識將各種衝擊降至最低等三大目標。在這些國家當中，日本自 1970 年代始迄今，共推動八次前瞻技術預測計劃，除了每隔五年進行一次例行前瞻調查外，還重新審視前瞻預測的意義。自第一次調查的這二十年來，日本約有 70-79 %的農業議題完全或部分實現，意味著前瞻研究對於未來情境預測的準確性。由於每個國家因其自然資源、文化、經濟背景的不同，對農業的重視程度也各異。藉由分析近十年日本、德國、韓國、英國四國前瞻議題中有關生物技術在農業領域所占的份量，如表一所示。各國有關農業的議題，發現生物技術相關議題占總議題的比例很高，日本第六次生物技術約占其農業議題的 54 %；第七次前瞻則有 43 項，約占其農業議題的 54 %；而韓國、德國與英國則分別以 43 項、36 項及 22 項約占該國農業議題的 49 %、36 %及 19 %。亞洲國家的比例高於歐洲國家，這可能與歐洲對 GMO 的規定較為嚴格有關。

表一、各國國家前瞻計畫中農業生技相關議題數比較

國家前瞻計畫	研究進行年代	技術預估時程	生技議題/農業議題
日本(六)前瞻	1996-1997	30 年	45 項/84 項
日本(七)前瞻	2000-2001	30 年	43 項/79 項
韓國前瞻	1998-1999	25 年	43 項/88 項
德國前瞻	1996-1998	30 年	36 項/101 項
英國前瞻	1993-1995	20 年	22 項/116 項

如何利用生物技術之手段來達到農業之永續，可透過日本前瞻研究的

內容並依糧食安全、減少殘毒、增進健康、食品安全、產銷整合等五個策略方向作為思考的依歸。

一、糧食安全：

在糧食安全的考量下，基改作物已不是各國(包括我國)可選擇是否接受的問題，而是如何使其更安全的問題。也因此日本致力發展技術方向應用於植物，包括以基因操作技術來改良作物的產量及抗逆境能力(例如抗病力及抗寒力)、利用生化控制或基因操作技術以改良水稻等 C_3 植物的光合作用系統，以提高糧食作物產量。由於水生動物不與人類競爭糧食與土地，日本預測未來膳食蛋白質將以水產為主。因此除了加強海洋資源的開發，並利用基因操作與細胞融合技術創造耐水溫變化及疾病之品種，生產優良穩定特性（耐病性，高成長性）的水產養殖品種，此一策略或許可降低畜產與人類競爭糧食的壓力。台灣也為一島國，此策略為值得重視方向之一。

二、減少殘毒：

此為減少人為生態對於自然環境所造成的負面影響之策略，尤其在降低農業化學品用量方面，日本學者預測到 2015 年生物性農藥可取代化學農藥用量之半，同時因積極在非豆科固氮作物的開發及溶磷技術的開發，希望能因此增加土壤中的氮素來源，使得溶磷微生物可以分解土壤中的難溶的磷，並為作物所吸收；除了使作物自生產環境中的營養元素供應增加，同時增加了土壤中的有機質，提高了土壤的肥力，並降低化肥的使用量。另一方面，環境可因復育技術的開發，包括檢測技術的開發、生物多樣性的分子工具、森林、海洋、沼澤低地的復育技術、污染的清除等技術，以排除污染、恢復生態，此類技術如與遙測等數位技術相結合，以強化自然資源與國土經營之管理,建立對天然災害預警與偵測之管理系統。

三、增進健康：

健康是將來農業重要的價值觀。而在日本科技前瞻諸多強調老年化的社會問題，同時對營養需求提供「客製化」量身訂做的新概念，包括根據個人體質不同(例如過敏、不同型態之慢性病)或不同族群(例如老年人)所設計出的各種機能性食品，用以預防疾病。除了能降低農業資源之非必要浪費，更可減輕未來政府對國民健康保險上的支出。此一策略或可為各國在發展保健食品之健康產業上一個重要的方向。

四、食品安全：

基改作物雖已逐漸普遍化，但仍有其對環境的風險。社會大眾因工業革命所帶來的負面影響記憶猶新，對轉基因作物在安全及 管理機制上不無

疑慮，因此遲遲無法普遍化。而未來新興農產品的價值觀，則會以基改食品及有機生產兩種產品並存，供消費者自行選擇。因此日本在食品安全之科技前瞻策略中強調檢測技術之開發，即透過數位技術的結合，發展可由消費者自行檢測的技術，以保障消費者選擇的權利。另外政府及相關決策單位須從食物面及環境面，檢討基因改造農產品之安全性，以使消費者理解的評估方法之開發，並使一般市民對於GMO有正面的理解以及意識的形成。因此與社會溝通形成共識之策略將成為我國政府在食品安全相關之施政上一個重要項目。

五、產銷整合：

綜觀台灣農業現況，台灣農業因以小農生產為主體，在經營成本上相對不具有競爭力。面對全球化趨勢，必須加速整合農業價值鏈，從育種、研發、生產、行銷到流通，促進農業整合經營，藉由大農(農民團體、農企業）之整合，以帶動小農（家庭農場、產銷班）發展，以扭轉個別農民在規模經濟的劣勢，使台灣農業成為高競爭力的產業。日本在產銷體系之策略上，推動法人化機構從事農業生產的趨向殊為明顯。在此架構下，開發各種技術及管理機制，以確保農產品的品質，及降低物運時的污染。例如從生產現場到餐桌食品的過程中，可透過 DNA 晶片和分光感測器等各種感測器監控系統之開發，以防止有害物質攙入及細菌污染，確保食品的安全性。以台灣目前而言，生產履歷制度即為建構產銷整合管理系統之重要一環。另外，開發全球規模的感測網絡技術，以建立農林水產生態系中主要元素與物質循環的監控聯結系統，可早期發現生理病害、病蟲害、禽流感，以及苗圃場、畜舍、養殖池等即時環境問題，亦為此策略之重要發展方向。

綜合日本農業技術前瞻的概念，一方面用前瞻調查，設定願景及形成共識，另一方面以文獻分析盤點知識及技術，再加上領域整合的觀點設定主觀及客觀的指標，依此定位透過「技術地圖」的實現，將農業科技發展予以整合，揭示必須發展之技術及其完成的時間。而技術的選擇，則可跨越生技或非生技，甚至其他領域的技術予以整合，此一科技政策規劃的方式已得到很多國家的迴響，也值得我國決策單位之參考。

結　語

生物技術或可定義為在分子層面探索及操作生命現象的技術。其除了傳統發酵等操作微生物的技術外，還有組織培養、基因定序及檢測、基因轉殖、生物資訊等新技術，其技術應用的層面跨越了醫藥、產程開發、農

業、環境保育、食品、能源等多個領域。雖然生物技術為大幅度提升生產及研發效率最具潛力的工具，但迄今生物技術在農業上的應用僅為傳統技術之輔助工具，並不能完全取代傳統技術。就以農業目前最重視的基改作物為例，生物技術在品種開發的過程中，無法取代傳統育種應用的程序。因此通常生物技術占研發成本的三成，而近七成的成本則屬於傳統育種技術的開發。

故當各國在提倡綠色農業時，不應過分單獨強調生物技術的開發，應著重生物技術未來在「分子生態學」的研究。此研究注重動、植物和微生物(包括重組生物體)的個體或群體與環境的關係，即利用分子生物學之手段來研究和解決生態學的問題，闡明自然種群和引進種群(例如基轉動物或植物)與環境之間的關係，評估重組生物體之釋放對環境的影響等研究。其中分子指標之建立是分子生態學重要工具之一。透過這些研究我們對自然界維持生物多樣性的機制可以進一步瞭解，使人為生態對自然生態的衝擊降到最低程度，以期達到綠色農業所追求「天人合一」的境界。

參考文獻

Nassar N. M. 2006. Are genetically modified crops compatible with sustainable agriculture? Genet Mol Res. 31;5(1):91-2.

Brandt P. 2003. Overview of the current status of genetically modified plants in Europe as compared to the USA. J Plant Physiol. 160(7):735-42.

Harlander S. K. 2002. The evolution of modern agriculture and its future with biotechnology. J Am Coll Nutr. 21(3 Suppl):161S-165S.

郕宏潘。2004。台灣的農業科技研究，作物、環境與生物資訊 1: 141-162。

黃勝忠、蔡奇助。2000。生物技術在農業生產改進上的應用。生物產業 11:1-10。

黃欽榮。1998。加入世界貿易組織對農業之衝擊與因應對策，產運銷季刊 115:1-12。

陳治宇。殷正華。2002。二十一世紀科技趨勢報告-農林漁牧與食品，行政院國家科學委員會科學技術資料中心， 90-105 頁。

日本科學技術廳第六次技術預測調查概要。2025 年之科學技術-日本未來技術之發展方向。1998。行政院國家科學委員會科資中心出版， 1-54 頁。

江晃榮。2002。新綠色革命與農業生物技術，化工科技與商情出版， 25-37 頁。

黃山內、謝明憲。1999。農村生態保育與農業永續經營，中華民國農學團體 88 年聯合年會中心議題討論: 誇越千禧年農業新紀元--兼論 921 地震災後農業復建論文集，7-23 頁。

誌　謝

本研究蒙行政院農業委員會經費補助(計畫編號: 94 農業科學-5.1.3 科-a5)得以順利完成，特此感謝。

微生物肥料在綠色農業之研究與發展

楊秋忠

國家講座教授
國立中興大學土壤環境科學系

摘　要

綠色農業是在農業與環境協調的生產方式，可促進永續發展、增加農民收入、保護環境及保証農產品安全的農業。利用輪作、作物殘質、動物廄肥、綠肥、豆類、農村有機廢棄物、礦物岩石及生物法防治病蟲害，以維持土壤生產力是綠色農業中的典型有機農業。從這個應用範疇中，無論在有機或低投入農業，可以瞭解土壤微生物所扮演的工作與綠色農業有密不可分的關係。農地中的土壤微生物直接或間接地影響土壤地力及作物生長，其中包括固氮菌、溶磷菌、菌根真菌、分解有機及無機礦物及根圈保護菌等，種類甚多，功能作用也甚廣，甚至還有不可培養之菌種，其功能包括增進土壤氮素來源、增加養分的有效性及溶解度、釋放植物生長激素、增進作物根系生長及營養吸收、分解有機物釋放養分、分解土壤中有毒物質、與病菌抗衡作用、聚合形成土壤腐植質等，在土壤環境中都扮演著不同土壤及作物健康的重要角色。

綠色農業是應用有機物為主的農業生產經營方式，施用有機肥料要達到作物生產的目標，就需要依靠土壤微生物來協助配合，否則，將無法順利達到營養循環及有效供應充足的營養。古代的農業生產，雖然也是採用有機物為主的生產，但對土壤微生物並未特別去管理，是靠著長期的天生天長，這種農業生產潛力的發揮必定有限，因此，現代有機農業不能刻板的復古。而現在的農田又長期的施用化學肥料及農藥，並且許多農田及山坡地缺乏有機質，這些缺乏有機質的土壤，微生物足群必然低落，因此，由現在傳統的農業改變為有機農業時，微生物肥料的應用就有其需要性，以便達到保育土壤及維持良好的生產目標。本文中並討論未來之研究方向，尤其要重視多效用微生物的應用，提供參考，以便發展自然化、科學化及整體化的綠色農業。

前　言

微生物肥料係指含具有活性微生物或休眠孢子，如細菌(含放線菌類)、真菌及藻類等及其代謝產物的特定製劑，應用於作物生產具有供應

植物養分或促進養分利用，包括增進植物養分和元素之供應量與總量，或刺激植物生長，或促進植物對營養和元素的吸收。土壤微生物直接或間接地影響作物生長，其中包括固氮菌、菌根菌、硝化菌、分解作用菌等等，種類甚多，作用功能也甚廣，例如增進土壤氮素來源、增加養分的有效性及溶解度、釋放植物生長激素、增進作物根系生長及營養吸收、分解有機物釋放養分、分解土壤中有毒物質、與病菌抗衡作用、聚合形成土壤腐植質等等的功能，各種土壤微生物都扮演著不同的角色，這些微生物能在土壤中生存，歷經千百萬年而未被消滅，各有其存在的原因，尤其是頡抗病菌的微生物及根圈上一群保護根系的微生物則甚為重要。現代農業栽培管理上，影響土壤微生物相平衡或有益微生物生長的因子不可忽視，尤其是以過度使用農用化學物(包括農藥及肥料等)，加上土壤的環境污染，對原本天生天長的土壤微生物也必需加以重視。

綠色農業是指農業與環境協調的生產方式，可促進持續發展、增加農民收入、保護環境及保証農產品安全的農業。綠色農業的種類包括有機農業(organic agriculture)及低投入農業(low input agriculture)。而有機農業的範疇是利用輪作、作物殘質、動物廄肥、豆類、綠肥、農村有機廢棄物、礦物岩石及生物法防治病蟲害，以維持土壤生產力(Papendick, et al., 1980)。綠色農業是不依賴農用化學物質的生產體系，需要降低能源使用及生產成本，穩定產量及提高收益，及減少環境生態的衝擊。不依賴化學肥料的方法是應用有機質肥料(動、植物及微生物殘體)、微生物肥料(微生物的活體)，及礦物肥料(岩石礦物粉末)。從這個應用範疇中，可以瞭解微生物所扮演的工作與綠色農業有密不可分的關係。有機農業是應用有機物、微生物及礦物肥料為主的農業生產方式，施用有機物要達到作物生產的目標，就需要靠土壤微生物來協助配合，否則無法達到營養循環及供應充足的營養。古代的農業生產，雖然也是採用有機物為主的生產，對土壤微生物並未特別去管理，靠著長期自然生長，農業生產潛力的發揮必定有限。而現在的農田，且有長期施用化學肥料及農藥，許多農田及山坡地缺乏有機質，這些缺乏有機質的土壤，微生物族群必然低落，因此，由現在傳統的農業改變為綠色農業時，降低化學肥料及增加有機質與微生物肥料的應用就有其需要性，才能達到保育土壤及維持良好的生產目標。

綠色農業的實施策略包括：

一、充分利用生態環境的物質及養分循環系統：

二、營養綜合管理（INM：integrated nutrient management)：

精準施肥，使用環保性肥料（生物性及有機質肥料），達成可持續生

產及保護環境的方法。

三、病蟲害綜合管理（IPM: integrated pest management)：

精準綜合及生物防治方法，避免過量使用農藥，達成生態平衡及提高生產效率的方法。

四、生物技術：

高產及高品質之品種。

五、輪作生產系統：

包括豆科、綠肥。

農業土壤為何需要微生物肥料？

農業土壤中原本即存在有許許多多的微生物，種類甚多，依生物分類學上，主要包括細菌、放線菌、真菌、藻類、原生動物等，在自然環境下相生相剋的生存著，在生態上扮演絕對重要的角色。在整個生態環境中，各種微生物各有其功能，各發揮其所長，但從不同角度上，某些微生物對作物而言可區分為有益及有害微生物，有益微生物可利用作為微生物肥料，有害微生物就是作物病害微生物，不同土壤中有害微生物的多寡不同，有害微生物受有益微生物及土壤環境所控制。為何原本土壤己有微生物還需要施用微生物肥料呢？其原因如下：

一、農用化學物質的大量使用：

現代農業栽培管理上，為了增產及改善生產品質，使用大量農藥及化學肥料，長期使用後，對有益微生物之減少及抑制，或生態相不平衡之影響都不可忽視，正確的土壤栽培管理應有長遠的眼光。

二、土壤受到污染：

環境的污染使土壤遭到各種污染物的影響，可能來自水污染或空氣污染，攻使土壤變酸或增加污染物，長期的污染下，首當其衝的土壤微生物受到相當程度的影響。

三、栽培系統的改變：

水田及旱作輪流栽培的方式是台灣常見的輪作系統，近年來食米過盛，水稻田轉作為旱作。由於水田的微生物與旱作的微生物代謝不同，好氣菌與嫌氣菌之比例也有相當的改變，水田時的有益菌，不見得能在旱作時有大的表現，反之旱作時土壤有益菌，也不見得能在水田中表現良好，因為環境狀況會影響微生物的活動。從上述人為之有意或無意下，土壤微生物之生態相有相當程度的改變，因此，現代栽培環境下，對原本天生天長的土壤微生物也必需加以重視管理。

四、增加有益微生物的優勢：

根圈或土壤中的各種有益微生物的工作能力及效率有好也有差，就如團體的成員一樣，有努力及不努力者，若能施用優良菌，將在根圈及土壤中佔優勢，其工作效果就提高了。有益微生物可增進土壤肥力及生產力、協助植物吸收營養及抓地力、增加植物抗病及抗旱能力、減少環境污染等功效，因此，增加有益微生物有相當重要的意義。

微生物肥料的發展目標及功能

微生物肥料的研發目標是要達成「高效、環保及安全」之綠色農業生產。以養分供應、吸收及促進生長達成高效之生產量及品質；以生物制衡及多樣性達成環保之生態保育；以土壤復育達成安全之無毒無害之農業生產。

微生物肥料之功能是包括：一、增進作物養分來源：固定大氣中氮(N_2)。二、提高作物養分之有效性：增進有機質降解與礦化作用、酵素活性及養分有效性。三、增進作物養分及水分之收貯與輸送：提升作物對養分及水分供應、吸收及輸送效率。四、增進作物生育：增進作物生長、發育及延長壽命。五、改良土壤性質：改善土壤物理、化學及生物性質。六、降低有害物質毒性：促進有害物質分解。

微生物肥料之研究

一、微生物肥料之研究範圍包括如下：

（一）菌種之選拔：

1.優良功能之微生物。

2.多功能之微生物。

3.耐（抗）逆境之微生物。

4.適應不同土壤環境之微生物。

5.適應不同作物之微生物。

（二）菌劑之開發：

1.菌種：單一菌劑、複合菌劑。

2.劑型：液劑、固劑。

3.釋放型：直接釋放型、緩釋型、控釋型。

（三）生產技術及設備：

1.生產流程。

2.生產品管。

3.生產設備。

二、菌種選拔包括如下：

（一）優良功能之微生物（肥料功能兼作物生長促進）：

1.N：固氮菌，游離性、協生性及共生性細菌、放線菌、藍綠藻。

2.P：溶磷菌，溶解 Ca-P、Fe-P、Al-P、有機磷等細菌、放線菌、真菌等。

3.K：溶鉀菌，溶解矽酸鉀鹽之菌。

4.Ca：溶鈣菌，溶解 Ca-P 及其他不易溶解性鈣之菌。

5.Mg：溶鎂菌，溶解不易溶解性鎂之菌。

6.有機物分解菌：分解各種有機物、纖維素、蛋白質、脂肪、醣類、幾丁質等。

7.植物促進生育：促進作物生長及根系發展

（二）多功能之微生物：

篩選單一菌具上述多功能。

（三）耐(抗)逆境之微生物：

1.物理逆境：溫度（嗜高溫菌、嗜低溫菌等），水分（乾旱、浸水無氧等），輻射（紫外線、放射線等）。

2.化學逆境：酸鹼（嗜酸性菌、嗜鹼性菌），鹽度（極端嗜鹽菌、嗜鹽菌），毒物（重金屬、農藥、有機污染物、植物毒物質等），抗瘠（低養分、礦區污染）。

3.生物逆境：對抗病蟲害之菌種。

（四）適應不同地區土壤環境之菌種。

（五）適應不同作物種類之菌種。

三、菌劑之開發已包括如下：

（一）菌種：

1.單一菌劑：特殊優良菌種。

2.複合菌劑：不一定愈多種菌會愈有效，因有菌種間之拮抗作用擴大適應性之效用。

（二）劑型：

1.液劑：成本較低、不利運輸、易污染膨罐。

2.固劑：成本較高、有利運輸、不會有膨脹問題。

（三）釋放型：

1.直接釋放型：沒有控制釋放菌種。

2.緩釋型：特定時間釋放出菌種。

3.控釋型：控制不同時間釋放出菌種。

微生物肥料的產品種類

微生物肥料的種類分別說明如下：

全球微生物肥料的產品主要是包括細菌、放線菌、真菌、藍綠藻等微生物，在商品上一般可見單一或多菌類混合的微生物肥料。單一菌類微生物肥料一般也是複合多株同類菌株的產品。以下為一般常見的微生物肥料之菌種：

一、固定氮素的微生物：

植物不能直接利用氮氣（N_2），氮氣在空氣中約佔 80%，只能經由固氮菌轉化成有效的氮化合物，這種作用叫作『固氮作用』。

固氮菌的種類依分類上區分為細菌、放線菌及藍綠藻類，其共同特徵是此類微生物均為無細胞核的微生物。固氮菌與作物關係上可區分為共生性、非共生性及協同性固氮菌。共生性固氮菌與植物 (如豆科、赤揚) 形成瘤狀或固氮體，如根瘤菌、放線菌、共生藍綠藻類；非共生固氮菌是在土壤或水田的游離固氮微生物，如固氮螺旋藻及光合固氮細菌類；協同性固氮菌是存在植物根圈附近，利用植物之根分泌物生活而固氮，其固氮效率一般較非共生固氮菌為高，如螺旋狀固氮菌與禾本科植物之協同性關係為最明顯。

二、菌根真菌：

菌根菌是一種與植物根部共生極為廣泛的真菌，主要的菌根菌包括內生、外生及內外生三大類，作物的根部與菌根菌發生共生。外生菌根菌伸入根皮層，但不進入細胞內，常在根的外部形成瘤狀或掌狀物，外生菌根菌的共生以林木為最多；內生菌根菌伸入根皮層及細胞內；內外生菌根菌則細胞內外皆有。一般農田作物以內生菌根菌為最多，尤其以囊狀體－叢枝體內生菌根菌最普遍受到重視。

三、溶磷菌：

溶磷菌是泛指能溶解土壤中不易溶解的無機或有機磷化物的微生物總稱。近年來農業施用許多的化學磷肥，然而磷肥中有效性磷非常容易與土壤中的正離子（鈣、鐵、鋁、鎂等）結合，形成不易溶性的磷化合物，如磷酸鈣、磷酸鐵、磷酸鋁等，加上磷的流失性小，於是磷在農田中累積，但作物並不易利用。若能利用溶磷微生物，將有利作物於土壤中磷肥的有效應用。

不同的溶磷菌的種類中，溶磷能力及能溶解物的範圍差異甚大，有的

菌可溶解「鈣結合磷」，可是不能溶解「鐵結合磷」，有的菌種且可溶解多樣的不易溶解的磷化物。常見的溶磷菌包括細菌及真菌，如 *Pseudomonas*，*Bacillus*，*Thiobacillus*，*Penicillium*，*Aspergillus* 屬等。

四、根圈有益微生物：

根圈有益微生物是指此類微生物適宜生長在根圈周圍，並能促進根系或植物生長。根菌有益微生物依不同功能而有差別，例如有分泌或轉化植物賀爾蒙或促進劑的微生物促進根系生長，增加營養吸收；有抑制病原菌的微生物，而此類菌之功能與肥料功能有差別，不宜以「微生物肥料」稱之，而以「微生物接種劑」或「微生物資材」稱之為宜，如「載鐵物質」的分泌菌。

五、分解菌：

分解菌是指可分解土壤有機物、農藥或有機肥料的菌類，此類的菌常與機質混合應用，增加土壤中有機質的礦質化作用，而釋出營養分。分解菌的種類甚多，作用的範圍甚廣，從大分子的有機質分解成小分子之有機或無機物（如銨、二氧化碳等），甚至包括去除惡臭物的分解作用及解毒作用。但需注意若會分解土壤有益物質的分解菌不宜加入土中。

六、有機聚合物的產生菌：

土壤中有許多小分子之有機物（如酚類、胺基類、醣類等），會被此類微生物聚合成大分子的有機物（如腐植酸、黃酸、黑色素等），這些聚合有機物對土壤的理化性質貢獻甚大，如增進土壤團粒作用，功效不可忽視。

以上各種重要的微生物，可以複合在一種或多種菌的微生物肥料中，使其發揮所長，達到有效的成果，是未來肥料的重要資材。

微生物肥料的展望

綠色農業生產在未來全球的走向，將以高效、環保及安全為生產目標，講求品質、新鮮及安全的產品，並在重視環境生態的永續性農業之前提下，微生物肥料將是不可缺少的生產資材。

肥料包括化學、有機及微生物肥料，任何一種肥料在綠色農業生產上都不可能是萬能，因此，在微生物肥料的應用上需要去瞭解其功效，適當的調配及應用，才能充分發揮功能，達到事半功倍的效果。

生物防治在綠色農業體系中所扮演的角色

謝廷芳 余志儒 石信德

行政院農業委員會農業試驗所

前　言

綠色農業是以生產、加工、銷售綠色食品為核心的農業生產經營方式。綠色農業的作物栽培與生產概念界於傳統農業與有機農業之間，亦即是由傳統農業過渡到有機農業之前採取符合生態需求、降低有害農藥使用、生產安全無虞農產品的一項農業作為。並遵循自然規律和生態學原理，採用一系列可持續發展的農業技術，以維持穩定的農業生產體系。近年來，政府極力提倡與發展『永續農業』，祈能藉由生態資源循環利用的耕作理念，充分採用各種栽培管理措施，配合農作物資源回收再利用，生產無農藥殘留的農產品，與綠色農業的概念不謀而合。在生產綠色食品的過程之中，常需克服與降低病蟲害所帶來的威脅，而採用生物防治的理念是依據生態學原理，增進生物多樣性，並以物克物的方式來降低病蟲害的發生，完全符合綠色農業的需求。本文祈能以廣義的生物防治概念，闡述其在綠色農業生產體系之中所扮演的角色，以嘉惠讀者。

綠色農業與病蟲害管理

臺灣地處熱帶與亞熱帶氣候區，常年半數時間處於高溫多濕環境下，適合多種作物病害的發生與傳播，增加農民生產成品，嚴重影響農產品的產量與品質。在符合綠色農業理念的作物生產過程之中，病蟲害的管理是較為棘手而必須即刻克服的問題。在考量永續農業的經營精神，依循生態學原理的方式來管理病蟲害的發生是一項應被重視的作為。在一個農業生態系之中，生物多樣性越高，生物間的相互關係越複雜，而生物間以物克物的情況無時無刻不在發生，達到動態平衡，則該生態系越趨於穩定，這是生物防治的最佳理論來源。因此，依生物防治的原理，可利用生物性天敵及微生物製劑來防治病蟲害的發生。在生態系中常見物種的弱肉強食現象，適者生存，不適者則遭淘汰的命運，因此如何誘發作物本身對病蟲害的抗性，亦是一項符合生態學原理的病蟲害防治作為。據報告，許多微生物及植物萃取物，天然礦物或化學物質等均具誘導植物抗病性的功效，值

得廣為應用。在穩定的生態系之中，防治病蟲害的資材取之於生態系，用之於生態系，可使農業生態系不遭受外來的重大衝擊，並使天然資材循環利用，生生不息。如植物萃取物及其製劑，天然素材或礦物等均取自於自然界，可作為防病忌蟲的天然資材。因此，符合生態學原理的病蟲害防治措施，均包含於廣義的生物防治定義之中。

生物防治與綠色農業

臺灣常年高溫多濕，所生產的農作物容易遭受病蟲草害的危害而造成經濟損失，又化學燻蒸藥劑『溴化甲烷』即將在未來農業操作中被禁止使用，極需尋找可行的替代方案，而採行生物防治方法與策略適可稍微填補其空缺。永續農業是遂行綠色農業的手段，且已被列為重點發展之政策，而生物防治則為綠色農業植物保護的重要手段。在農作物病蟲害綜合防治中，需要利用生物防治技術來減少化學藥劑的使用，而生產有機農產品時，更需利用無污染，且運行在自然生態體系內之措施來減少病蟲害損失，據此研發生物性植物保護製劑或生物性農藥是是執行生物防治不可或缺的重要工作。

相較於傳統農藥每年 1~2%的成長速度，預測目前全世界的生物性植物保護製劑市場，正以每年 10~15%的 速度成長中。自 1999 年以後，美國國內即有 1 億 5 千萬美元的市場規模，至 2005 年 8 月已有 214 種有效成分以 1055 種產品登記為生物性農藥上市。根據英國作物保護協會（UK Crop Protection Association）的調查顯示，2000 年全球農藥產值約為 292 億美元，而生物性農藥的產值將近 1.6 億美元，預估至 2020 年，生物性農藥的總產值將可達到 50 億美元。目前生物性植物保護製在國內經核准登記在植物上使用之有效成分有 15 種，包括微生物製劑之蘇力菌（*Bacillus thuringiensis*, Bt）、枯草桿菌（*Bacillus subtilis*），植物源之除蟲菊精、印楝素及生化農藥之甜菜夜蛾費洛蒙、斜紋夜蛾費洛蒙等。我國由國外進口之生物性農藥產品防治對象主要為害蟲，依農委會統計資料顯示 2004 年生物性農藥年銷售額約台幣 4,918 萬元，其中微生物農藥 (蘇力菌殺蟲劑) 約 1,788 萬元(佔 36%)，生長調節劑「勃激素」約 1,026 萬元(佔 21%)。另抗生素殺菌劑 4,155 萬元，而 2004 年新登記進口之賜諾殺(spinosad)殺蟲劑已遠超過蘇力菌之產值其輸入值達 2,100 萬元。

生物性農藥的優點如下：一、具低毒性、對環境低風險；二、對目標病蟲害較具專一性；三、施用量少，易分解，無殘留問題；四、降低化學農藥的使用量；五、辦理農藥登記所需資料較少，取得核可時程較短。因

此，生物性農藥的使用符合綠色農業的規範，在未來極具競爭性。

生物性農藥的種類

所謂的生物性農藥可分成三大類:

一、微生物農藥：

指利用真菌、細菌、病毒、原生虫 (protoza) 等作為主要成份，用於防治植物病原菌、植物病原線蟲、昆蟲或雜草者。例如以枯草桿菌 (*Bacillus* spp.) 、螢光假單胞菌 (*Pseudomonas* spp.) 、木黴菌 (*Trichoderma* spp.) 、鏈黴菌 (*Streptomyces* spp.) 、粘帚黴菌 (*Gliocladium* spp.) 、囊叢枝菌根菌 (*Glomus* spp.) 、白殭菌、綠殭菌、黑殭菌、核多角體病毒 (Nuclear Polyhedrosis Virus, NPV) 及線蟲 (*Steinernema abbasi*) 等具有生物防治潛力的微生物作為防治植物病蟲害之微生物製劑。

二、植物源農藥：

指利用植物體本身者之有效成分如植物萃取液或植物油作為防治植物病原菌、植物病原線蟲、農業害蟲或雜草之製劑者。由基因導入植物體以獲取所需的毒蛋白，亦包括在內。一般指植物原料僅經脫水乾燥處理後壓榨、磨粉或製粒而不以化學方法精製或再加以合成者。例如印楝素（azadirachtin） 、大蒜浸出液 (garlic) 、菸鹼 （nicotine） 、除蟲菊精（pyrethrum）、魚藤精（rotenone）、藜蘆鹼（sabadilla, vertrine）及皂素（saponins）等。植物萃取液防治作物病蟲害是開發植物性農藥的初階研究。目前研究植物萃取物防治作物病害的成果經歸納可分成二大類，第一類為植物萃取液可誘導植物產生抗病性，第二類為直接使用萃取抗菌物質或含抗菌成分的萃取液。

三、生化農藥：

指利用費洛蒙 (昆蟲訊息素) 、賀爾蒙 (激素) 、天然昆蟲或植物生長調節劑 (自然的昆蟲或者植物發展管理者) 、驅蟲劑 (驅蟲劑) 或拒避劑以及酵素等當作主要活性成份 (有效的 pesticidal 成分) ，尚包含天然礦物或天然化學物質等以作為防治植物病原菌、植物病原線蟲、農業害蟲或雜草者。一般而言，生化農藥指經過提取與純化過之微生物次級 (二次) 代謝物與從植物取得再製之有效活性成分作為製劑者，例如誘敏蛋白質 (harpin protein) 。

根據美國環境保護署 (EPA) 報告，截至2005年底在美國通過登錄生物性農藥有效成分達215種，相關產品達1076種。而據我國防檢局農藥資訊服務網之記錄，國內已登記生物性農藥約15種，包括微生物製劑之蘇力

菌、枯草桿菌，天然素材之除蟲菊精、印楝素及生化製劑甜菜夜蛾費洛蒙、斜紋夜蛾費洛蒙等。

生物性農藥之開發與應用

一、微生物農藥 (microbial pesticides) ：

農用微生物製劑係指用於作物病原、害蟲、雜草防治或誘發作物抗性之微生物或其有效成份經由配方所製成之產品，其微生物來源包括：細菌、真菌、病毒和原生動物等，一般由自然界分離所得，唯也可再經人工品系改良，如人為誘變、汰選或遺傳基因改造。

（一）病害防治用微生物農藥：

截至目前為止，國外已量產且商品化的生物製劑涵蓋多種微生物，如 AQ10® (*Ampelomyces quisqualis*)、Fusaclean® (*Fusarium oxysporum*)、SoilGard® (*Gliocladium virens* GL-21)、Bio-Trek 22G® (*Trichoderma harzianum*)、 Trichodex ® (*Trichoderma harzianum*) 、 Quantum 400 HB® 、Kodiak® (*Bacillus subtilis*)、BioJect Spot-Less® (*Pseudomonas aureofaciens*)、Stealth® (Steinernema feltiae)、CYD-X® (Heliothis Nucleopolyhedrosis Virus; NPV) 、 Actinovate® (*Streptomyces lydicus* WYEC 108) 及 Mycostop® (*S. griseoviridis* K61) 等，用於防治各種病原菌引起的病害。

臺灣利用生物防治方法防治病害發生的研究工作已超過二十年，曾被應用於田間實作而有成效的例子有： 1. 屏東科技大學以木黴菌（*Trichoderma koningii*） 粉衣紅豆種子可防冶紅豆根腐病，並增加產量；2. 台灣大學植物病理系曾利用枯草桿菌 （*Bacillus subtilis*） 粉劑處理菊花扦插苗，發現可減菊花莖腐病; 利用 *B. amyloliquefaciens* 可以防治百合灰黴病； 3. 農業試驗所植物病理系發現利用木黴菌（*Trichoderma harzianum*，*T. atroviride*，and *T. virens*）可有效地防治康乃馨根腐病、香瓜蔓枯病、甘藍立枯病，以及促進植株生長； 4. 中興大學植病系亦有發展枯草桿菌 （*Bacillus subtilis*） 應用於如木瓜炭疽病及疫病的防治，放線菌 (*Streptomyces saraceticus*) 防治柑桔裾腐病及木瓜果實疫病、 *S. padanus* 防治甘藍立枯病及番茄晚疫病等多種病害的防治等。台灣目前已登記使用於病害防治的枯草桿菌商品化產品只有台灣寶®一項，此外亦有多種微生物如木黴菌、放線菌、枯草桿菌及螢光假單胞細菌等進入商品化開發之階段 (表一) 。如農試所將木黴菌 Tv-R42 菌株量產技術技術移轉給鴻福生技生態公司，而將 Th-004 菌株量產技術授權給百泰生物科技股份有

限公司；中興大學植病系將放線菌 (*Streptomyces padanus*) 以非專屬授權方式移轉給永豐餘生技股份有限公司。

（二）害蟲防治用微生物農藥：

在蟲害防治方面的生物性農藥包括細菌類 (蘇力菌) 、真菌類 (白殭菌、黑殭菌) 、病毒 (核多角體病毒) 、蟲生線蟲等。細菌方面，以可產生 8 種殺蟲毒素之蘇力菌，是目前唯一用量最多的生物性農藥，以防治鱗翅目害蟲為主，惟多仰賴進口。 藥試所目前以遺傳工程及生物技術來改善本土蘇力菌 (*Bacillus thuringiensis*, Bt) 菌株之生物活性。真菌方面，如中興大學利用白殭菌 (*Beauveria bassiana*) 防治蔗龜、草蟬、綠島草蟬、亞洲玉米螟、甘藷蟻象等，利用綠殭菌防治斜紋夜蛾、玉米穗蟲；而本所嘉義分所利用黑殭菌 (*Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin) 防治椰子之紅胸葉蟲、青蔥之甜菜夜蛾、水稻斑飛蝨和褐飛蝨等，均有良好之成效。病毒方面，中興大學研究細胞核多角體病毒 (Nuclear Polyhedrosis Virus, NPV) 用於防治甜菜夜蛾、玉米穗蟲、斜紋夜蛾等多種鱗翅目幼蟲，鞘翅目的犀角金龜，膜翅目的鋸蜂等。在蟲生線蟲方面，興大所分離之本土線蟲 *Steinernema abbasi*，對甜菜葉蛾、玉米穗蟲、等多種鱗翅目幼蟲之致死率高。以上均具有開發生物性農藥的潛力，惟尚未有商品化。

二、植物源農藥 (plant derived pesticides) ：

植物源農藥為利用植物所含的穩定有效成分，按一定方法對目標植物進行施用後，以降低病、蟲、雜草等有害生物危害的植物源製劑。植物源農藥的優點如下：（一）全世界可作爲植物源農藥應用的植物約有二千種以上，種類繁多，取材容易；（二）植物是天然化工廠，生產天然化合物，取之不盡，用之不竭；（三）植物源農藥具有抑菌忌蟲及誘導抗病的功效；（四）已有魚藤酮、苦參鹼、菸鹼、楝素、藜蘆鹼、茴蒿素、木煙鹼、苦皮藤素、苦豆子總鹼等產品問市。

（一）病害防治方面：

國外利用植物萃取物防治作物病害的例子不少，日本大黃 (*Rheum undulatum*) 萃取物可濕粉製劑 (RK)2000 倍稀釋液，對胡瓜白粉病有 75-100% 的防治率；虎杖 (*Reynoutria sachalinensis*) 萃取液對數種作物之白粉病及灰黴病具有良好的防治效果；馬纓丹 (*Lantana camara* L.) 的花萃取液可降低由 *Aspergillus niger* 引起的番茄果腐病，也降低因 *Drosophila busckii* 造成傷害導致的果腐；苦楝葉的酒精萃取液及種子的油萃取液明顯降低稻熱病菌胞子發芽及稻熱病的發生。目前中國大陸用於防治作物病害的植物主要有大蒜、板藍根、商陸、大黃、連翹、苦楝等幾十

種；有些天然植物成分已被研發成商品，如市售的大蒜素、中草藥製劑“912”、MHll-14 可濕性粉劑等，並推廣給農民使用。德國 BASF 於 1993 年大量篩選植物萃取液的抑菌效果，得到一虎杖 giant knotweed (*R. sachalinensis*) 的乾抽出物，商品名為 Milsana，是唯一在美國登錄的植物抽出物殺菌劑。義大利研究人員發現 Milsana 可降低 50% 的胡瓜白粉病，對玫瑰白粉病亦有相同的效果。

國內研究單位已由天然植物萃取物調配成多種植物保護製劑，用於防治作物病蟲害。如日本虎杖防治甜瓜白粉病、龍葵防治白菜黑斑病、驚炭號及活力能可防治白菜炭疽病、黑修羅可防治水稻稻熱病、銹躲可防治玉米銹病、黴挫防治灰黴病、葵無露防治白粉病。

（二）蟲害防治方面

農試所以天然無患子 (*Sapindus mukorossi*) 果肉抽出物製成名為益無螺粒劑之製劑，用於防治福壽螺（發明專利：發明第Ｉ220104 號）；保護露液劑用於防治蚜蟲（效果佳，介面活性劑改進中）。另外，研究開發植物油防治害蟲的評估工作，目前已收集 9 種植物種子，榨取種子油測試對農作害蟲之防治效果。其中蓖麻 (*Ricinus communis*) 油、巴豆 (*Croton tiglium*) 油可誘殺玉米螟幼蟲，而花椒 (*Zanthoxylum* sp.) 之揮發性物質可忌避斑蚊。

三、生化農藥 (biochemical pesticides)：

所謂生化農藥包括：(一）化學信息素如昆蟲費洛蒙等以生物性素材經過化學萃取或合成，惟其作用機制無毒害者，如甜菜夜蛾費洛蒙、斜紋夜蛾費洛蒙等；(二）天然礦物如硫礦、碳酸氫鉀、亞磷酸鹽等；(三）天然化學物質如幾丁質、幾丁聚糖、醋酸、醇類等。

（一）化學信息素：

一種生物所分泌產生的化學物質，生物體間接受該等訊息，並造成特別的反應，這種化學物質稱之為化學傳訊素，又稱信息素，可細分為費洛蒙 (pheromone) 、開洛蒙 (或利它蒙，kairomone) 、阿洛蒙 (或利己素，allomone)、新洛蒙(或互利素，synomone)及阿紐蒙(apneumone)。費洛蒙 (pheromones) ，包括性費洛蒙、聚集費洛蒙、警戒費洛蒙、分散費洛蒙及示蹤費洛蒙等，其中以鱗翅目的性費洛蒙或誘引劑的研究最多，主要應用於 1. 害蟲之監測及族群動態預測、2. 害蟲誘殺以降低其密度及 3. 干擾交配等。阿洛蒙 (allomones) 常為警戒性物質，對於生物可產生負面的反應，以減少接觸或使用之機會，如忌避劑、產卵及取食抑制劑等；開洛蒙 (kairomones) 對生物有利，促進寄主搜尋、產卵及取食，如誘引劑、阻斷

劑、刺激劑等。在我國現已大量使用性費洛蒙及誘引劑，推廣於田間防治斜紋夜蛾、甜菜夜蛾、番茄夜蛾、甘藷蟻象、茶捲葉蛾、茶姬捲葉蛾、楊桃花姬捲葉蛾、瓜、果實蠅等之害蟲。

（二）天然礦物或天然化學物質

目前國內學者利用天然礦物或化學物質已研發出防治病害的製劑或使用法，分述如下：

1. 「地吉」為中興大學植病系曾德賜教授所研發成功的新型農用殺菌劑，由國科會移轉台灣氰胺公司量產上市，目前已登記推薦於防治瓜類白粉病之用，除瓜類白粉病外，經試驗證實其對碗豆、茄子、芒果、非洲菊、蕃茄、草莓與青椒等多種作物之白粉病，均有媲美傳統農用殺菌劑之防治效果。此新型農用殺菌劑主要由天然化學物質如維他命 B_2、甲硫胺酸、硫酸銅等所組成，其口服毒性 LD_{50} 大於 1,800 mg/kg；具低毒、低殘留等環境安全性特質。主要作用機制為核黃素維他命 B_2 與甲硫胺酸於太陽光的照射下，形成光動效應 (photodynamic reaction) ，並產生一系列強毒性激活態氧衍生物 (包括單重氧 singlet oxygen、過氧化氫 hydrogen peroxide 、超氧自由基 superoxide anion ，以及烴基自由基 hydroxyl radical 等) ，以觸殺葉表上的白粉病菌。
2. 有些特殊的化學物質能刺激植物啟動防禦系統，產生抗生物（anti-pathogen substances），對抗入侵的病原菌，稱為誘導性抗病 (induce resistance) 。如水楊酸 （防治灰黴病）、亞磷酸 （防治藻菌類病害）、寡聚醣 (oligosaccharide) （降低病毒的為害） 、草酸、聚醢胺 （防治作物銹病）、幾丁聚醣 （防治鐮胞菌引起的病害） 具有誘導植物體產生抗病性的功效，其中又以亞磷酸 （phosphoric acid, H_3PO_3） 的效果最佳，農試所開發亞磷酸與氫氧化鉀以 1:1 重量比，經稀釋 1000 倍後使用，幾乎可以完全預防某些作物的疫病、露菌病及白銹病的發生。它的防病機制就如同人與動物施打了預防針一般，當特定的病原菌入侵時，植物可以辨識，並立即啟動防禦系統，產生植物防禦素 (phytoalexin) ，對抗病原菌的入侵。
3. 以小蘇打或稱碳酸氫鈉 (baking soda, sodium bicarbonate) 防治作物病害。在 1933 年出版，由 Hottes 氏所編著的書「A Little Book of Climbing Plants」中已提到用稀釋約 133 倍的小蘇打可有效防玫瑰白粉病。 1981 年，日本 Homma 等人利用碳酸氫鈉防治瓜白粉病。隨後，在 1985 年八月份的有機農園 「Organic Gardening」 雜誌上，報導日本的研究人員以約稀釋 500 倍的小蘇打可有效防治瓜類、茄子和草莓白粉病。在

1990 年六月份的溫室管理者「Greenhouse Manager」雜誌上，摘錄了美國康乃爾大學 Horst 博士利用小蘇打可有效防治白粉病及黑斑病的發生。農試所亦證實利用碳酸氫鉀可有效防治田間甜瓜、玫瑰、番茄等的白粉病。

結　語

綠色農業首重穩定生態系的維護與保持，生物防治的概念與作法洽可應用於綠色農業中作物病蟲害的防治。作物病蟲害生物防治的概念及潛力已被傳誦近半世紀，藉由研究技術的突破與工業醱酵技術的精進，最近才得以發揚光大，其中最成功的例子應屬蘇力菌製劑的推廣與使用。但眾多的有益微生物之中，真正被開發利用者，實屬少數，有賴研究人員及生技公司再接再厲。針對美國 EPA 已核定之生物性農藥的有效成份，在國內應簡化登錄程序，以加速生物性農藥的開發與商品化的時程。生物性農藥應用在綠色農業的病蟲害管理方面，扮演著極重要的角色，端視使用者對生物製劑防治病蟲害的認知與心態，而不要一味地與傳統化學農藥的速效性相提並論。

未來開發生物性農藥的研究方向應考慮：一、天敵或微生物在導入生態系中的持久性，包括食物源或營養源的供應系統；二、天敵或微生物的飼育、製備或增量方法應可民眾化；三、創造有益昆蟲及微生物增殖的環境；四、混合使用生物性農藥的可行性評估；及五、生物性農藥的耐貯藏性、效果持久性、具專一性及低生態干擾性等問題。

表一、臺灣近年來運用微生物防治植物病害的案例

拮抗微生物種類	研發單位(公司)	標的病原菌
枯草桿菌 (*Bacillus subtilis*)	百泰生物科技(股)公司	碗豆白粉病、胡瓜露菌病、蓮霧果腐病 、芒果蒂腐病
木黴菌 (*Trichoderma koningii*)	屏東科技大學	紅豆根腐病
枯草桿菌 (*Bacillus subtilis*)	臺灣大學	菊花莖腐病、百合灰黴病
枯草桿菌 (*B. amyloliquefaciens*)	臺灣大學	百合灰黴病
枯草桿菌 (*Bacillus subtilis*)	中興大學	木瓜炭疽病、芒果黑班病、煙草白星病、番茄細菌性點病、柑橘潰瘍病、山藥及山蘇白絹病
螢光假單胞菌 (*Pseudomonas putida*)	中興大學	甜椒細菌性斑點病
黏帚黴菌 (*Gliocladium virens*)	中興大學	水稻紋枯病
鏈黴菌(*Streptomyces saraceticus*)	中興大學	柑桔裙腐病、木瓜果實疫病
鏈黴菌 (*Streptomyces padanus*)	中興大學	甘藍立枯病、番茄晚疫病
木黴菌 (*Trichoderma harzianum*, *T. atroviride*, *and T. virens*)	農業試驗所 虎尾科技大學	康乃馨及百合根腐病、香瓜蔓枯病、甘藍立枯病

表二、國內自行配製之昆蟲性費洛蒙

害蟲種類	開發狀況	害蟲種類	開發狀況
斜紋夜盜	實用階段	小菜蛾	實用階段
甜菜夜蛾	實用階段	甘藍擬尺蠖	實用階段
蕪菁夜蛾	實用階段	大豆擬尺蠖	實用階段
蕃茄夜蛾	實用階段	二點螟	實用階段
球菜夜蛾	改進中	甘藷蟻象	實用階段
二化螟	實用階段	茶姬捲葉蛾	改進中
大螟	實用階段	楊桃姬捲葉蛾	改進中

(摘自『設施園藝學』第 381 頁)

生物性農業資材開發與利用之方向

簡宣裕[1] 高穗生[2] 張明暉[1] 劉禎祺[1]

1. 行政院農業委員會農業試驗所
2. 行政院農業委員會農業藥物與毒物試驗所

摘 要

目前生物性農業資材之開發與利用，大致而言可有下列之四個大方向。一、配方有機質肥料與有機液肥之開發與利用：一般堆肥及有機質肥料之三要素濃度的比例，不能符合作物生長最適合的需求，且肥效反應較慢，故開發配方有機質肥料與有機液肥，應用于有機農業栽培，是有必要性與實用性。二、多功能生物性肥料與複合功能生物性有機質肥料之開發與利用：化學肥料製造過程需要耗費大量能源與礦源，而石油能源與礦是珍貴與有限的，故各國正推動減少或取代化學肥料之施用，而開發微生物肥料菌株與有機質肥料複合之多功能肥料，施用於增進作物生長與品質，既省工又省時，可顯著減少化學肥料施用量。三、生物性農藥與天敵之開發與利用：化學農藥對生物與生態的殺傷與破壞力是非常強的，所以如何減少化學農藥施用，開發並利用生物性農藥劑，以防治作物病蟲害，是目前研發的重點之一。四、生物性可分解塑膠之開發與利用：傳統塑膠材料雖有輕便、耐用及價格低等優點，但塑膠性質太穩定不易分解，累積之後，對農業環境會造成嚴重之污染，且導致農田生產力降低，目前生物可分解塑膠取代傳統塑膠的國內潛在市場有很大的需求性，故以生物技術開發生物分解性塑膠是值得發展的方向。

前 言

因為醫藥發達與生活水準提高，人的平均壽命大幅增長，世界人口愈來愈多，為了滿足全球人類對糧食的迫切需求，農業研究人員努力育成新品種及開發新的生產技術，以提高作物的產量，經由近幾十年作物生產技術的增進與農業資材的充分利用，使單位面積的產量大幅增加，糧食產量顯著增加，但至目前為止所使用之農業資材絕大部份是不可再生性的，對環境污染、自然資源之消耗及生態造成負面的衝擊與破壞。因此，利用生物技術開發生物性農業資材並應用於農業生產是有其迫切的需要性。

配方有機質肥料與有機液肥之開發與利用

於作物生長過程若能提供合適比例的對養分，則可顯著增加作物生長勢，提昇農產品品質與產量。堆肥與有機質肥料之氮、磷及鉀濃度的比例，往往不能符合作物生長最適合的營養需求，例如未經適當調整之菇類廢棄物堆肥做為栽培介質時，對作物有不利現象，會降低番茄、小白菜的發芽率與幼苗生長，以及使玫瑰苗葉片發生黃白化現象。作物在營養生長期及開花與結果生殖生長期時，皆需要合適三要素比例的養分供給，才能顯著增進作物之品質與產量；例如作物在生殖生長期時，應適度減低氮肥而提高磷肥與鉀肥的供給，因此時若氮素過多，枝葉繁茂將對開花不利，故開發配方有機質肥料以滿足作物生長之需求是極需開發的研究工作。

作物進行有機農耕時，是必需施用有機質肥料，但有機質肥料屬於緩效性肥料，施於土壤中需經礦化分解過程始可釋出作物所需養分，其分解速率除與有機質肥料本身性質有關外，尚受到土壤及氣候環境、耕作制度等所影響，故有機質肥料即時供應作物養分的能力，明顯不如化學肥料。而有機液肥有幾個特性，為一、有機液肥較一般有機質肥料的肥效快速：大部分有機質肥料雖具改良與增進土壤物理性及化學性功能，但是有效性養分含量及經礦化作用釋出養分之速率皆遠比速效性化學肥料低，是以較緩慢速度釋出養分供作物吸收利用，往往第一年的肥效只釋放出 50 – 60 % 的養分；而有機液肥之肥效較一般有機質肥料的肥效反應快，其效果與化學肥料者相近，施用後可以快速且幾近於把全部養分的肥效反應出來。二、當做追肥，可補充滿足作物各生長階段養分的需求：雖然有機質肥料的種類很多，有來自動物排泄物、農產廢棄物經發酵穩定化之堆肥，農產加工副產品肥料如大豆粕、菜仔粕、花生粕、芝麻粕及茶實粕等油粕類有機質肥料，但這些有機質肥料的養分含量及三要素養分之間比例，皆有顯著的不同處，於作物進行有機栽培過程時，經常會因養分供應的不平衡，不能滿足作物生長時養分平衡之需求，而會有某種要素過多或缺乏的症狀產生，若此時適當的補充供應作物特定配方之液肥，則可快速有效的解決養分上的問題。三、有機液肥有病害防治的功效：因有機液肥成份中包括一些化學性的拮抗物質如酚類和氨基酸等 (Trankner,1992) ，或者一些的代謝產物與抗生素，是具有生物抑制活性的功能，故有機液肥是美國農部新近推介給有機栽培農民使用的生物性農業資材，用以促進作物生長與降低作物葉部病害；通常有機液肥減低作物病害的發生，是經藉由抑制病菌孢子發芽、誘發寄主抗性、和寄主的拮抗與競爭作用及產生化學抑制劑的機制而達成。因此，若作物於栽培生長過程中，因養分不平衡出現缺氮、

缺磷或缺鉀等症狀時，或者針對作物品質之需求，例如要使葉菜類肥美、果實大小與甜度增加及花卉花型較大與鮮艷時，則可分別選用特定配方比例之有機液肥，配合適時的施用，就能快速補足與平衡作物於有機栽培時養分的不足與不平衡，以達到有機栽培作物品質的維持與提昇。

故開發配方有機質肥料與有機液肥，以滿足作物生長所需的養分狀態，應用于有機農業栽培，生產出健康、安全且高品質的農產品是兼具必要性與實用性。

多功能生物性肥料與複合功能生物性有機質肥料之開發與利用

世界先進國家及臺灣許多農地已有普遍性過量施用化學肥料的問題。化學肥料製造過程需要耗費大量能源，而石油能源是珍貴與有限的資源，故國內及國外各已開發國家正推動 「合理化施肥」與「有機農業」 ，以堆肥或有機質肥料來減少或取代化學肥料之施用。為達到減少化學肥料施用之最有效方法是利用適量之微生物肥料及有機質肥料，以促進作物對土壤養分吸收。如此，對農地之永續經營及環境生態保育有甚大助益。

但目前市面上微生物肥料與有機質肥料之產品是各別販售，在施肥上需分別使用，費工費時。因此，創新開發微生物肥料菌株與有機質肥料複合之多功能農業資材，合併施用於增進作物生長與品質，既省工又省時，且可顯著降低農業生產成本。有益微生物，如 *Azotobacter* sp. 、*Azospirillum* sp. 、 *Pseudomonas* sp. 及 *Bacillus* sp. 等可以釋出促進植物生長物質及作物生長需要的養分，分泌有機酸與磷酸酵素溶解或降解土壤中難溶無機磷化合物及有機磷化合物，及固定空氣中氮素。一般堆肥或有機質肥料的養分釋放速率較緩慢，肥效遠不如化學肥料，且堆肥中有益微生物的族群數很少。故研製出含豐富有益微生物族群之複合有機質肥料，增進其肥效及兼具生物防治效果，應用于增進作物生長及增加土地生產力，有利於環境保護及農業永續經營。

生物性農藥與天敵之開發與利用

化學農藥對生物與生態的殺傷與破壞力是非常強的，故減少化學農藥施用，開發並利用生物性農藥劑，如生物性殺細菌劑與殺真菌劑、防治線蟲之微生物治劑、防治害蟲之天敵及生物性殺草劑等，做為農業生產所需的資材，是目前全世界的研發重點之一。生物性農藥與天敵的開發與利用有下列幾種：

一、防治線蟲之生物性製劑：

線蟲是危害作物的主要病原體之一，例如松材線蟲、根瘤線蟲、包囊線蟲、葉莖線蟲及穿孔線蟲等。屬於擔子菌類的皮菌 (*Aphyllophorales. Coticiaceae*, *Hyphderma* spp.)，能將其冠囊體 (stephanocyst) 附著、寄生在松材線蟲、水稻白葉尖病線蟲、草莓葉芽線蟲上。而有些 *Hyphoderma* 其菌絲體常含有一些有毒物質或抑制化合物，當被被松材線蟲攝食之後，松材線蟲會麻痺而被毒殺，菌絲體再進入松材線蟲體內，破壞其組織器官，吸收其養。目前這些真菌可以用人工大量繁衍。此外臺灣專有的內部寄生性真菌 *Esteya vermicola* ，能寄生於松材線蟲體，可以以用來防治黑松琉球松或五葉松、二葉松之松材線蟲。 放射線菌 *Pasteuria* 是臺灣線蟲之天敵，是絕對寄生於芋頭、茭花、苦瓜等作物根域之根瘤線蟲，寄主對象是專一性的，可以耐受各種惡劣環境之壓力，不過目前只能用寄主繁殖，將來若能以人工培養則有利於生物防治製劑的開發。

二、防治昆蟲製劑：

（一）病毒防治昆蟲製劑

許多病毒可以感染昆蟲，其中是以桿狀病毒 （*Baculovirus*） 最具有生物防治的可能性。防治昆蟲之病毒大致可以分為核多角體病毒 （nucler polyhedron virus, NPV） 與顆粒體病毒 （granulosis virus,GV） ，核多角病毒有內涵體 （inclusion body） ，內涵體內有含蛋白質與病毒之顆粒。當昆蟲攝食內涵體或 GV 之病毒顆粒後，內涵體內的蛋白質被昆蟲腸液的強鹼活化，而分解釋出病毒顆粒，病毒顆粒的外膜與昆蟲腸細胞膜融合，而得以進入胞內，然後去鞘，病毒顆粒的核酸進入昆蟲腸細胞核內，增殖病毒顆粒，並進行細胞間感染，但病毒寄主的對象範圍太小，讓昆蟲致死的時間要 5-14天或以上，且病毒顆粒容易受到紫外線破壞。如果利用基因工程之方法，將 ecdysteroid UDP-glycosyl transferase 基因 、 Diuretic hormone e基因、 Tox-34 （蟎毒基因） 、 Asl t （蝎毒基因） 、蘇力菌 delta-endotoxin 基因等加以改變或修飾，然後插入 （insertion） 此類病毒之基因體內，則可能提高殺死昆蟲的能力與擴大寄主的範圍、以及增加抗紫外線的能力。

（二）防治昆蟲之細菌性菌劑

此類菌劑之研究以會產生內生胞子之桿菌屬 （*Bacillus*） 為最多，例如 *Bacillus thuringiensis* （蘇力菌） 、*B. popilliae*、*B. sphaericus*、*B. lentinorhus* 以及 *Pasteuria penetrans* 與 *Pseudomonas flurorescens* 等，目前蘇力菌廣泛應用於防治甜菜夜蛾、擬尺蠖；埃及斑蚊、家蚊等。

（三）防治昆蟲之真菌性菌劑

如 *schersonia* 可以防治介殼蟲、粉蝨，*Beauveria* 防治種科羅拉多甲蟲、松毛蟲、歐洲玉米螟；利用 *Hirsutela* 防治柑桔銹蜱；利用 *Verticillium* 防治蚊白蝶、小菜蛾、薊馬、蚜蟲等。黑殭菌能防治可口椰子之紅胸葉蟲。許多蟲生真菌，如白殭菌或黑殭菌，也會產生毒素如 Beuericin 或 Destruxin 此等皆可液態發酵量產用於殺蟲，效果是不錯。

三、防治細菌與真菌之製劑：

枯草桿菌 (*Bacillus subtilis*) 可以用來防治茄科植物的青枯病菌 (*Ralstonia solanacearum*)，*B. megaterium* 菌體或菌體濾液能使病原真菌立枯絲核菌 (*Rhizoctonia solani* Kuhn AG4) 之菌絲變形，以至於分解，而減少百合受 *R. solani* 感染所引起之病害。聖誕紅幼苗浸泡或施用拮抗性細菌，如 *Pseudomonas phenazium*、*B. subtilis* 或 *B. insolitus*，可以有效防治由 *R. solani*、*Pythium aphanidermatium*、*Pythium splendens*，所引起之根、莖基部腐敗病，提升促進其扦插苗存活力。葡萄之炭疽病、晚腐病、莖腐病、日日春之疾病、蕃茄之早疫病、白花芥藍黑斑病，可以施用 *B. brevis*、*B. subtilis var. globigii*、*B. cereus*、*Bacillus* sp.及 *Burkholderia gladioli* 來達到一定程度的效果。

花卉或蔬菜由立枯絲核菌或腐霉病菌所引起之猝倒病或根腐病，若施用超寄生真菌 *Gliocladium virens*，則可達到顯著的防治效果，而 *Gilocladium catenulatum* 能用於防治 *Rhizoctonia, Pythium, Botrytis, Didymella* 所引起的作物葉部、根部及果實之病害。目前具有拮抗功能之真菌為 *Trichoderma*、*Gliochadium*、*Coniothyriu*、*Penicillium*、*Pythium*、*Schizophyllum* 等，至少有 22 種。

四、防治雜草之生物性製劑：

一般而言，防治雜草之生物性製劑，皆為真菌性製劑為主。例如商品名為 De Vine（病原 *Phytophthora palmivora*）、Collego（病原 *Colletotrichum gloeosporiodes* f. sp. *aschynomene*）及 De Vine（病原 *Phytophthora palmivora*），可以用來防治柑桔園或大豆田之雜草；以銹病菌 *Puccinia chondrillina* 可以防治 Skelton weed（*Chondrilla juncea*），而得以控制此種意外入侵之雜草。但是施用生物性殺草劑時，是需要合適的配合條件才能達到較大的效果，例如作物種植面積要大，使用之真菌性殺草劑是絕對寄生菌及高度寄主專一性等。

生物性可分解塑膠之開發與利用

傳統塑膠材料輕便、耐用及價格低等優點，是一般農業、工業、商業、醫藥及家庭生活常使用之資材，目前全球各國每年總計約有 1.5 公噸以上塑膠產出。但塑膠性質太穩定不易分解，若掩埋於地下（一般塑膠分解約需200-400年），則不僅需要廣大的空間，會影響土壤本身的物理及化學性質，導致土壤污染。至若隨意丟棄，則灌溉溝渠堵塞，影響田間排水，對環境造成很大負面影響。故累積塑膠廢棄物對農業環境造成之污染問題日趨嚴重，且影響到農田的生產力。

一、生物可完全分解性塑膠的種類：

生物可完全分解性塑膠有 3 大類，為微生物醱酵型塑膠、合成高分子型塑膠及天然高分子型塑膠，茲分述如下：

（一）微生物醱酵型塑膠

聚酯類（polyesters）具有極性鏈結存在於許多自然物質中，由微生物所產生之酵素可將這些鏈結水解，再由微生物對於這些斷鏈分子分加以代謝。聚羥基烷鹽 (polyhydroxyalkanoate) 簡稱 PHA 是細菌儲存碳源及能量的聚酯類，許多微生物當其生長的環境處於碳源過剩並且缺乏某一類營養素，例如氮源、磷或鉀等時， PHA 即被大量累積於菌體內。利用聚羥基烷鹽所合成的塑膠,它的物理性質類似於石化塑膠產品 polypropylene，並且具有生物相容性 (biocomapatible) 、生物可分解性 (biodegradable) 及熱可塑性等重要性質。

（二）合成高分子塑膠

此類生物完全可分解塑膠，有以聚乙烯醇 (PVA) 與聚乙二醇類合成塑膠，聚己內酯合成塑膠，聚乳酸合成塑膠，聚乳酸交酯共聚合物（Polylactide），乙交酯（glycolide）、己內酯（caprolactone）、內酯（lactone）等單體與乳酸交酯單體共聚合成聚乳酸交酯共聚物 (Polylactide) 之塑膠，以各種二元醇和二元酸進行縮聚合反應合成的塑膠。

（三）天然高分子合成塑膠

在自然界中有許多的天然高分子材料，例如木材中的纖維素 (cellulose)，馬鈴薯、玉米含有大量澱粉 (starch)、甲殼類動物中如螃蟹或昆蟲的外殼的幾丁質等，皆可用來作為生物分解性塑膠的材料，由於這些材料廣泛存在於大自然中，可以提供無限的原料作為分解性材料。

二、可分解性塑膠在農業上的用途：

可分解性塑膠在農業上的用途有（一）緩效性肥料及農藥之包裹膜原料，（二）利用於製造種子帶，（三）製成可分解有機質肥袋，（

四） 農藥的包裝袋，（五） 用於可分解栽培盆、樹苗護根套、及包紮植物根部的分解膜，（六） 可分解性繩與捆紮帶，（七） 應用於草坪與林地之綠化，（八） 蔬果之套袋，（九） 作物得夾子與標示牌。分別如下所述：

（一）緩效性肥料及農藥之包裹膜原料：

生物完全可分解性塑膠可應用於肥料或殺蟲劑之膠囊化原料，先以微膠囊之緩效性肥料及農藥施入土壤或施用於作物，則在作物生長過程中，微膠囊內之肥料或農藥能均勻而緩慢的釋出，而達成均勻釋放肥料或延長殺蟲與殺菌劑之殺虫與殺菌的期效。

（二）利用於製造種子帶

利用聚氨基葡萄糖及纖維素經添加澱粉後產製生物分解膜，可以用於農用種子帶及水槽農法之孢子袋栽培；國內已有公司從日本引進機械製造種子帶應用於牛蒡的種植等。

（三）製成可分解有機質肥袋或垃圾袋

目前國內之肥料袋皆為不可分解之塑膠袋，而生物性可分解塑膠若用於製造為肥料袋或垃圾袋，則可以於使用後資源回收，運送至堆肥場進行醱酵製成。

（四）農藥的包裝袋

水溶性之農藥包裝袋，可以聚乙烯醇類化合物 (polyovinyl alcolol) 當做材料而製成，於短時間內即可溶解。在民國 70 年，國外已有此種農藥包裝袋生產上市，國內臺灣汽巴嘉基公司已在 80 年代時由瑞士引進，此種包裝袋，操作方便且省時省工，使用後無包裝容器廢棄物的問題，又可保護噴藥者的安全。

（五）用於可分解栽培盆、樹苗護根套、及包紮植物根部的分解膜

聚己內酯生物分解塑膠栽培容盆，埋在土壤中經六個月後失重率達 48% ，一年內失重率達 95％ 。瑞士 Belland 公司開發出包紮植物根部的分解膜，於接觸肥料溶液時即會逐漸分解。此外在德國也已有廠商利用 Biotec 公司生產之生物分解樹脂產製移植缽。美國森林服務局採用聚己內酯生物分解塑膠所做作之樹苗護根套，再利用槍彈發射到山上，可保護作物初期之生長，然後於土壤中自然分解消失。聚己內酯生物分解塑膠栽培容盆，經由自動化機械進行樹苗栽植，埋在土中六個月栽培盆失重率達 48% ，一年內失重率達 95％ 。瑞士 Belland 公司開發出包紮植物根部的分解膜，包紮膜接觸肥料溶液時即會逐漸分解。此外在德國也已有廠商利用 Biotec 公司生產之生物分解樹脂產製花卉移植缽。

（六）可分解性繩與捆紮帶

荷蘭 Wageningen之Proterra 公司運用聚乳酸（PLA）生物分解塑膠或黃麻與天然的捆紮物產製生物可分解性分解繩子，利用於栽培番茄、小黃瓜、甜椒等作物，可以於一年以內分解掉。

（七）應用於草坪與林地之綠化

日本鐘紡公司採用聚乳酸產製生物分解纖維，運用於林地及草坪綠化，將生物分解纖維網及不織布鋪於想要綠化的地區，隨後將種子撒播或噴施其上，可以固定植株根部外，在植株成長後此些生物分解纖維網及不織布會自然分解。

（八）蔬果之套袋

蔬果在消費者購買後，套袋便變為廢棄物，若採用生物性可分解塑膠袋，可以資源回收利於產製堆肥，不會造成環境的汙染。

（九）作物得夾子與標示牌

利用生物分解塑膠聚乳酸（PLA）能用於開發植物標示牌，於 3 年內即可分解期；此外可開發為不同型式之生物分解嫁接夾，用於番茄、小黃瓜及甜椒之栽培。

三、可分解塑膠之國內外發展情形：

日本工業界也普遍認為經由生物分解敷蓋膜的量產，暨成本的下降生物分解敷蓋膜在日本市場至少將擴張 5-10 倍。 2010 年日本國內生物分解塑膠市場年需求量將達 100,000 公噸，會取代現有傳統塑膠市場的 10％ 。

2005 年，生物分解塑膠之市場總需求量約為 18 萬 7 千公噸，以歐洲之需求量較多，在農業上的需求所佔的比例約為 40.1％ 。生物可分解塑膠可取代傳統塑膠的國內市場潛力，每年約有60萬公噸，其市場價值高達1320億元。

適合臺灣栽培之能源作物的研發方向

楊金興、林俊義、陳甘澍、賴瑞聲、劉新裕、賴永昌

行政院農業委員會農業試驗所

前　言

自從工業革命後，人類大量使用煤炭、天然瓦斯及石油等，造成空氣污染，形成「溫室效應」，使全球氣候變遷，天然災害不斷，影響環境生態致巨，威脅人類生存。有鑑於此，聯合國制訂『京都議定書』於 2005 年 2 月 16 日正式生效，限制全球溫室氣體排放量(尤其是 CO_2)，第一階段 2008 年到 2012 年之間，受管制氣體的總排放量平均值，要比 1990 年減少 5.2%，已成為國際間重大環保課題。

臺灣溫室氣體排放量達全球百分之一，是世界第二十二位。為配合京都議定書精神及因應未來的國際趨勢，我國於今年(2005)6 月 20 日舉行全國能源會議，在具體結論中，CO_2 減量目標為 2010 年要減少 2,300 萬公噸，2015 年減少 7,100 萬公噸，2020 年減少 12,100 萬公噸。為達成目標， 2010 年將推廣再生能源佔總能源比率 3~5%，其中酒精汽油 2010 年要推廣 100~300 萬公秉，2015 年推廣 200~600 萬公秉，2020 年 300~900 萬公秉；生質柴油 2010 年目標 10 萬公秉，2020 年 15 萬公秉。

臺灣能源資源缺乏，進口能源所占 98.0%；進口能源以石油占 51.1% 最高，總消費量達四千五百萬公秉。由於石油危機及地球蘊藏量有限，造成油價節節高升，所以世界各國無不竭盡全力，設法提高能源的使用效率，或積極開發可以取代石油的替代能源，我國也不例外。

能源作物利用太陽能及吸收空氣中 CO_2 能進行光合作用，生產之生物質(biomass)貯存化學能，在常溫常壓下即能進行，是一種極具希望與有效率的能源生產方法，生物質可經過加工成燃料或直接燃燒生成熱能或電能利用，而且 CO_2 循環利用，不會增加大氣中 CO_2 濃度。由於兼具能源與環保雙重貢獻，是國際公認優良的再生能源或清潔能源，世界各國均積極開發利用。

由於耕地面積有限，糧食安全與能源利用具競爭性，德國因石油價格高，生產之油菜有 3/4 用於能源；一般而言，以休耕農地或開發休閒地生產生質能源，日本農業生產情況與國內類似，也因進口廉價農產品，造成約 40 萬公頃休耕農地，估計如每公頃生產乾物量為 15 噸，每年可生產能源約 120 PJ，再加上開發 120 萬公頃栽培短期之第二期作物，可達每年 120

PJ 的能源量，約可提供 1%的總能源消耗量，如果種植適當的能源作物，提高作物生產量，則可達到 1. 44 EJ/年，約占 7% (Yamamoto et al., 2005)，今(2006)年日本也立法通過積極開發利用生質能源，主要以甘蔗、甜菜、米麥 (庫存米) 等生產生質乙醇。

國內每年約有二十幾萬公頃農田休耕或種植綠肥作物，如能充分利用種植適當之能源作物，將對農業、環保及能源具有重大意義。

能源作物發展現況

能源作物生產之生物質 (biomass) 可經燃燒、裂解、發酵及氣化等技術，做成燃料或發電利用，稱為生質能源，大致有直接燃燒、生質乙醇 (bioethanol)、生質柴油 (biodisel) 、生質沼氣(biogas)、生質甲醇 (biomethanol)、生物質生成液體燃料 (biomass to liquid) 等。

由利用料源成份不同可分為固體燃料 (林木、作物莖葉等) 、醣類作物、澱粉類作物、油料作物及纖維素等，目前以生產生質乙醇和生質柴油用於運輸燃料 (與汽油或柴油參配使用) 為最大宗。

生質乙醇以糖質（如甘蔗、甜高粱、甜菜等）及澱粉類作物 (馬鈴薯、木薯、甘藷、玉米及穀類等）經發酵生產為主，據研究評估，將來纖維素生產生質乙醇較具發展性。

生質柴油以高油份含量植物 (如大豆、向日葵、花生、油菜籽、棉花籽、胡麻、亞麻、蓖麻、橄欖、油棕、椰子、油桐等等) 之植物油經轉脂化反應 (trans-esterification) 的程序製成的燃油，可作為燃料油，可替代柴油利用，其副產物 (甘油) 具有各種商業用途 (如化粧品、醫藥品、牙膏以及止咳糖漿等等) 。

巴西是利用生質乙醇最有名的國家為，主要利用蔗糖來製造；1973 年開始推動生質乙醇燃料計畫，2004 年生產量達 1,510 萬公秉，成本只有約 6 元/公升。 2003 年推出汽油、酒精雙燃料車，2004 年銷售總量達 25 萬輛以上；近年來因製糖甘蔗原料短缺，正加速進行利用甜高粱生產酒精的研究。

其次為美國於 1978 年頒佈能源發展法案，為推動使用酒精來代替汽油，訂定許多優惠稅法。主要作物為玉米及甜高粱等植物提煉。 2003 年美國國會立法要求在未來 10 年中，每年要在汽油中增加 50 億加侖的玉米乙醇。2004 年生產 1,338 萬公秉，主要以玉米為主，成本只有約 10 元；巴西及美國兩國產量約佔世界 75% 以上。

歐盟於 1993 年大力推動乙醇汽油計劃，要求成員國在汽油燃料中添

加 5%的乙醇，訂定發展目標分別為 2005 年 370 萬噸，2010 年 970 萬噸，2015 年 1,244 萬噸 (表一) 。英國、德國、法國、義大利等主要歐盟國家都制訂了相應的替代能源計劃，以甜高梁及穀類作物作能源作物生產。

生質柴油目前全世界年產量已超過 250 萬噸以上，其中歐洲占 80%以上，德國是生質柴油發展最成功的國家，訂定發展目標 (表二) 為 2005 年占柴油總量之 2.00%約共 70 萬噸，而產能達 150 萬噸，種植作物面積有 107 萬公頃；2006 年產量已達 200 萬公噸；2010 年目標為 5.75%，須 206 萬噸生質柴油，產能為 200 萬噸，種植面積須 143 萬公頃；2015 年目標為 8%，須 275 萬噸，產能為 370 萬噸，栽培面積須 264 萬公噸。歐盟生質能源發展目標 (表一) 為 2005 年 2.0%，2010 年 5.75%，2015 年 8.0%，其中生質柴油需要量分別為 2005 年 369 萬噸，2010 年 1,100 萬噸及 2015 年 1,670 萬噸。

由於德國大量生產生質柴油及獎勵措施，主要以冬油菜為主， 2004 年油菜平均產量約為 3.8 t/ha ，含油率約 40~50%；2006 年可達 5.0t/ha，此由於雜交種 F1 的種植面積增加，種植面積從 1996/7 年的 3.3%，到 2003/4 年達 49.1% (表三) 。所生產之油菜油約有 3/4 作為能源用。

國內 2005 年才開始進行能源作物之可行性評估，2006 年示範推廣 2,000 公頃，2007 年預定目標為 6,000 公頃，2008 年達 20,000 萬公頃 (表四) 。為鼓勵農民利用休耕田種植能源作物，每公頃可獲補助達 6 萬元。目前評估以生質乙醇為發展重點。

表一、歐盟生質能源發展目標

項　目	2005 年	2010 年	2015 年
占柴油及汽油總比率(%)	2.00	5.75	8.00
生質柴油(萬噸)	369	1100	1670
生質酒精(萬噸)	374	970	1244

(資料來源: Bockey, D. 2006.)

表二、德國生質柴油發展目標

項　目	2005 年	2010 年	2015 年
占總柴油比率(%)	2.00	5.75%	8.00
需要量(萬噸)	70	206	275
產能(萬噸)	150	200	370

(資料來源: Bockey, D. 2006.)

表三、德國油菜栽培面積及雜交種(F1)栽培面積比較

年　度	總面積 (千公頃)	雜交種(F1)面積 (千公頃)	雜交種(F1)所佔比率 (%)
1996/7	858	28	3.3
1997/8	959	50	5.2
1998/9	1150	92	8.0
1999/00	1046	160	15.3
2000/01	1116	215	19.3
2001/02	1276	430	33.7
2002/03	1218	570	46.8
2003/04	1262	620	49.1

(資料來源: Specht, M. 2004.)

表四、臺灣預定推廣能源作物面積及生質柴油產量

項　目	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年
推廣面積(公頃)	90	2,000	8,000	20,000
生質柴油產量(公秉)	-	3,100	6,100	45,000

能源作物之特性

一般良好之能源作物有下列特點：一、生長快、生產力高、生育期間短之作物；二、適應性大、容易栽培之作物，可密植栽培，粗放管理，且提高栽培密度後，各株的生長率、生產量仍然很高；三、能源生產量高的作物，高生產能源/投入能源之比例；四、生產成本低，搬運容易之作物；五、機械化操作容易等。

由作物光合作用的生理特性比較 (表五) 可供參考，理想的能源作物特性為：一、高生物質產量，例如 C_4 型生物質量可達 55 噸，C_3 型可達 35 噸之作物，或高油份，高澱粉及糖含量之作物；二、高乾物重比率；三、高養份及水份利用效率；四、高產出/投入比；五、高能源密度(MJ/kg)；六、可永續生產；七、抗病性佳；八、適應當地環境及氣候(EL Bassam，1998)。

在實際田間栽培作物時尚需須考慮一、低水分及肥料需要量；二、低除草劑用量；三、低農藥用量；四、高淨能獲得；五、低侵蝕風險；六、適合加工；七、永續生產；八、對環境、氣候有利用等 (EL Bassam，1998) 。

一般而言，C_4 型植物具有較高產潛力約為 C_3 型植物 2 倍，在溫帶地區可生產 55 噸／公頃／年，而 C_3 型植物只有 33 噸／公頃／年，在高溫多濕地區產量更高，如在加拿大估計 C_4 型植物可達 64.8 噸／公頃，乾物重 C_3 型只有 33.6 噸／公頃（Bassham，1980）。

作物之生物質產量主要由遺傳控制，地區性氣候與土壤性質也影響生物質能量，透過人為與自然方式育種選拔，可篩選獲得適合地區性之 C_3 或 C_4 型植物。

表五、不同光合作用類型植物的生理特性比較

光合作用特性	類型				
	C_3	C_3	C_4	C_4	CAM
最高光強度 (cal cm^{-1}min^{-1})	0.2-0.6	0.3-0.8	1.0-1.4	1.0-1.4	0.6-1.4
最大 CO_2 淨交換速率 (mg dm^{-2}h^{-1})	20-30	40-50	70-100	70-100	20-50
最適溫度	15-20°C	25-30°C	30-35°C	20-30°C	25-35°C
有效溫度	5-30°C	10-35°C	15-45°C	10-35°C	10-45°C
最大生長速率 (g m^{-2}day^{-1})	20-30g	30-40g	30-60g	40-60g	20-30g
水分利用率 (g/g)	400-800	300-700	150-300	150-350	50-200
作物種類	馬鈴薯，燕麥，油菜，小麥，甜菜，大麥，裸麥，白楊，亞麻，橄欖。	花生，水稻，大豆，篦麻，菸草，香蕉，胡麻，柳樹，向日葵，甜薯，竹子，棉花，可可椰子，樹薯。	高粱，玉米，甘庶。	小米，玉米，甜高粱，纖維高粱。	瓊麻，鳳梨。

(資料來源: Bl Bassam, 1998)

能源作物研究概況

種植能源作物除獲得最高之生質量外，最重要需考慮能源產出/投入比要高，或獲得之淨能最高，且適合加工生產，以及對環境之效益 (例如減少 CO_2 排放量高) 。

一、篩選高生物質產量作物：

一般 C_4 型作物有較高之生物質產量，尤其在高溫多濕地區產量更高，乾物重可達 64.8 噸／公頃， C_3 型只有 33.6 噸／公頃（Bassham，1980）。在德國以大麻，白楊樹，冬裸麥，柳樹等 10 種植物及作物品種(籽)，在不同氮肥 (0，75，150kg/ha) 下，為期 6 年篩選適合作為能源的植物，結果以大麻，白楊樹及冬裸麥的乾物質產量最高，在高肥區可達 8~12 噸，白楊樹在無肥區產量最高可達約 7 噸，估計 3 種植物可獲得能源約 120 GJ $ha^{-1}yr^{-1}$ 以上，其中以白楊樹燃燒後空氣污染最少，可作為直接燃燒利用 (Scholz and Ellerbrock, 2002) 。

二、篩選低成本、高能源產出/投入比之作物：

由於地區各環境氣候及生產條件不同，種植不同之能源作物投入之成本、能源，必須審慎評估。Bastianoni, S. and N. Marchettini (1996) 研究分析不同地區能源作物生產生質乙醇結果 (表六) ，相同作物不同地區其能源產出/投入比有相當大之差異，在巴西為 4.35 倍，在美國為 3.38 及 1.23 倍，在美國及巴西種植甘蔗可獲得之淨能為正數，而義大利利用葡萄生產生質乙醇其淨能為負數。在義大利比較甜高粱，纖維用高粱，高肥料小麥及低肥料小麥的全株利用能源產出／投入比率，以甜高粱較高可達 23 倍，小麥約有 12 倍 (Monti and Verturi, 2003) 。Gustavsson et al., (1995) 分析不同之料源生產成本以木削、作物殘體、楊柳樹等較低，約低於油菜約 3~4 倍。希臘以向日葵生產生質柴油所產出能量為 47.3 GJ/ha，投入的能源為 10.49 GJ/ha，其比率為 4.5:1 (Kallivroussis et al., 2002)。

表六、不同地區栽培能源作物生產生質乙醇產出及投入能源比較

項目	甘蔗 (巴西)	甘蔗 （佛羅里達）	甘蔗 （路易斯安娜）	葡萄 (義大利)
產出能量 (J ha^{-1} yr^{-1})	5.92×10^{10}	1.55×10^{11}	1.35×10^{11}	2.37×10^{10}
投入能源 (J ha^{-1} yr^{-1})	1.36×10^{10}	4.58×10^{10}	1.10×10^{11}	7.71×10^{10}
產出／投入	4.35	3.38	1.23	0.31
淨能(J ha^{-1} yr^{-1})	4.56×10^{10}	1.09×10^{11}	2.5×10^{10}	-5.34×10^{10}
每噸所需土地 (ha/ton)	0.92	0.38	1.67	

(資料來源: Bastianoni, S. and N. Marchettini, 1996)

三、提高作物之淨能量：

篩選適當作物及栽培技術，可增加作物淨能量。

在義大利比較甜高粱，纖維用高粱，高肥料小麥及低肥料小麥的全株利用，能源投入從整地，播種，肥料，農藥到收穫乾燥所需之能量，產出為收穫後生產酒精及生質燃氣所得之能量。淨能以 C_4 型作物甜高粱較高約 300~360 GJ ha^{-1}，小麥約 200 GJ ha^{-1}，生產酒精以甜高粱稍微適合，小麥則不適合，如果兩種作物非全株利用，則均不符合效益 (Monti and Verturi, 2003) 。估計酒精生產所需能源約 18.33 MJ/kg (Parisi, 1988) ，甜高粱消耗能量為 16 MJ/kg (Bonari et al., 1996) ，小麥穀粒消耗能量為 19.8 MJ/kg，麥稈消耗能量為 18.5 MJ/kg (Irarsson and Nilsson, 1988)。小麥酒精轉換率約為 28.6%，酒精產出能量為 26.8 GJ/t (Parisi, 1988)。甜高粱酒精轉換率約 4.7%，顯然偏低，渣為 29.4% (Venturi et al., 1993; Parisi, 1988)。

Bona et 等人 (1999）利用不同投入能源比較大豆，向日葵及油菜三種作物的產出／投入比，結果以向日葵投入 10-20 GJ/ha 的能源，可得到最高產出／投入比，其它二種作物亦以低投入方式較為有利，顯示以省工栽培方式可獲得較高之淨能量。

四、提高作物產量及耐逆境：

利用育種、栽培技術改進及生物技術改良作物(例如耐逆境，遺傳獲得等)，可增加產量及減少生產成本，且能源效率增加。能源利用效率 (energy efficiency) 為作物生產每噸乾物重所須之能源。 Swanton 等人 (1996) 分析比較 1975 年及 1991 年玉米及大豆生產之能源效率，在 1975 年玉米每

生產 1 噸乾重需要 87.95 公升柴油油當量，到 1991 年只要 44.16 公升，能源效率增加 49.8%，此因單位面積產量增加 20% (由 5.77 噸增加到 6.93 噸/公頃)。而大豆能源使用量由 75.64 公升減少到 38.67 公升，能源效率增加到 48.7%，因產量增加 (由 2.32 增加到 2.44 噸) 。1975 年玉米每公頃能源使用量從 19.4 GJ 降到 1991 年的 11.7 GJ 。 1975 年大豆每公頃能源使用量從 6.7 GJ 降到 1991 年的 3.6 GJ，因使用之肥料耗能減少 42.4%，減少除草劑使用量 55.6 % 之結果。但不整地栽培作物，會因減少除草劑施用量而減產或因增加管理操作而增加能源。Monti and Verturi (2003) 在義大利分析能源利用效率，以小麥較高在 1-3.3 之間，甜高粱只有 0.96-0.85 之間。

希臘以向日葵生產生質柴油產出能量為 47.3 GJ/ha，投入的能源為 10.49GJ/ha，其比率為 4.5:1，其投入能量以 N 肥的 42.4%最高，其次為油料 33.9%最高，再次為運輸 13.3% (Kallivroussis et al., 2002) 。美國玉米生產以肥料所占比率最高 (71~74%)，大豆以肥料 33.3%及除草劑之 22.2 %所需能量最多 (Swanton et al., 1996) 。

五、篩選可大量減少 CO_2 排放量之作物

作物因光合作用效率不同，生長速率不同，所累積之生質能量不同，一般 C_4 型作物較為優勢，但須視環境條件而定，燃燒時 CO_2 排放量也會不同，所生產不同之生質能其 CO_2 排放量也會有差異。

Bastianoni, S. and N. Marchettini (1996) 比較巴西及美國甘蔗生產生質乙醇做為燃料之 CO_2 排放量，以佛羅里達減少之 CO_2 排放量最高 (表七) ，其次為巴西之甘蔗，最差為義大利之葡萄，無法減少 CO_2 之排放量。Gustavsson 等人 (1995) 分析不同之生質能源所減少之 CO_2 排放量排序為甲醇＞乙醇＞生質柴油＞生質燃氣。

表七、不同地區栽培能源作物生產生質乙醇之 CO_2 排放量

項目	甘蔗 (巴西)	甘蔗 （佛羅里達）	甘蔗 （路易斯安娜）	葡萄 (義大利)
CO_2 排放量 ($g\ ha^{-1}\ yr^{-1}$)	1.89×10^6	4.86×10^6	9.76×10^6	8.05×10^6
相當於石化燃油 CO_2 排放量 ($g\ ha^{-1}\ yr^{-1}$)	4.44×10^6	1.16×10^7	1.01×10^7	1.78×10^6
CO_2 排放量/減少 CO_2 排放量	0.43	0.42	0.96	4.53

(資料來源: Bastianoni, S. and N. Marchettini, 1996)

國內具發展潛力之能源作物

臺灣栽培之作物種類眾多，歷史悠久，適合臺灣栽培之能源作物，可由過去栽培之經驗及研究結果，供作為能源作物栽培利用之參考，澱粉或糖類作物有甘蔗、甘藷、玉米、高粱及樹薯等，油料作物有落花生、大豆、油菜、向日葵及胡麻等 (表八及表九) 。

表八、臺灣主要澱粉或糖類作物之最高面積、平均產量及成分含量

作物	臺灣最高栽培面積(ha)	最高平均產量(kg/ha)	澱粉或糖含量(%)
甘蔗	100,000 (1960年)	91,934 (1992年)	13-15
甘藷	246,176 (1964年)	22,201 (1991年)	22-25
玉米	82,858 (1989年)	5,219 (2002年)	60-73
高粱	27,255 (1988年)	5,046 (1996年)	72-75
樹薯	26,782 (1974年)	16,291 (1976年)	25-40

資料來源:臺灣農業年報、雜糧作物各論及臺糖網頁

表九、臺灣主要油料作物之最高面積、平均產量及油分含量

作物	臺灣最高栽培面積(ha)	臺灣平均產量(kg/ha)	世界平均產量(kg/ha)	油份含量(%)
落花生	103,963 (1958年)	3,097 (2005年)	1,336 (2003年)	45-54
大豆	59,665 (1960年)	2,061 (1991年)	1,720 (1989年)	20-25
油菜	20,877 (1964年)	1,906 (1970年)	1,406 (1989年)	34-42
向日葵	214 (1983年)	1,906 (1983年)	1,422 (1989年)	50-65
胡麻	8,845 (1961年)	676 (2003年)	357 (1989年)	48-57

資料來源:臺灣農業年報及雜糧作物各論(雜糧基金會出版)

一、適合生產生質酒精之作物：

（一）甘藷：

為匍匐地面生長習性的一年生或多年生草本植物。栽培種的染色體數目，2n=90，起源予以墨西哥為中心的熱帶美洲，臺灣是在 17 世紀初期，由福建傳入栽培，迄今已有 200 多年的栽培歷史。

臺灣位於熱帶和亞熱帶之間，環境條件適合甘藷生長。甘藷是利用塊根和莖蔓進行無性繁殖，繁殖力強。本省氣候溫暖，甘藷種植時期無嚴格限制，任何季節種植，都有相當的收量。甘藷又對風土選擇不嚴，栽培容易，適應性廣，風險少，安定性高，且富有營養價值。收量之豐，也遠非其他作物所可比擬之特點，所以，台灣甘藷的栽培遍及全省各地。

農試所嘉義分所保存約 1600 種甘藷種原，可選育最適合生成酒精之品種。事實上，嘉義分所已育成台農 10 號、台農 31 號等高澱粉品種，若欲推廣甘藷作為生產酒精之能源作物，即可提供高澱粉甘藷品種供農民種植。甘藷因栽培容易，台灣各地皆適合種植，在民國 60 年左右栽培面積達 20 萬公頃以上，若以甘藷作為能源作物將容易被農民接受，配合嘉義分所已研發完成之甘藷採收機械，將適合進行大面積栽培，降低甘藷生產成本，但種植機械尚待加強，全年可供苗品種有臺農 57 號及 66 號，前者澱粉含量高，適合中南部種植，後者澱粉含量較低，適合北部種植，生產成本約 3 元/公斤（不含農民本身工資），每公頃栽培 3 萬苗，平均產量 30 公噸鮮重/公頃。

（二）甘蔗：

為禾本科多年生高大草本，C4 型植物，耐旱性強，原產於熱帶，為熱帶與亞熱帶栽培最普遍之糖料作物。臺灣利用甘蔗製糖的歷史悠久，自 1900 年代以來，配合新式製糖業的興起，甘蔗之栽培曾盛極一時。臺灣（臺糖公司）年產 90 萬公噸甘蔗產量，集中於 12 月中旬~3 月中旬，可維持 3 個工廠各 100 開工天，年產約 9 萬公噸蔗糖，副產 95％酒精 1.7 萬公秉，並且政策性鼓勵離蔗，自今年（94）二月份起開放砂糖自由進口。甘蔗、甘藷及甜高粱等糖質及澱粉類能源作物在臺灣容易栽培，尤其夏作期間受到颱風及豪雨的影響相對較低，甘蔗平均產量約為 78 公噸/公頃（生育期約 16 個月），約可生產 5000～6000 公升生質酒精。

（三）甜高粱：

約在百年前甜高粱被引進美國，初期專供製糖用，多種植於路州、德州、密州及加州等地。利用甜高粱製糖，由於純度不夠，澱粉含量高，

致容易轉化，結晶比較困難，製糖價值不高；但用作酒精原料，則無上述缺點。據美國 Price 與 Stokes 氏在美國各地栽培甜高粱之結果可知，在加州地區每英畝可生產製糖用原料 21.7 公噸，莖中 brix 為 22.1，含糖率 15.4% ，可生產蔗糖 4.8 公噸；德州之甜高粱，最高含糖率可達 15.7%，幾與甘蔗相同，雖其產量稍低，但每公頃糖產量仍達 4.7 公噸。又據 Landen 氏 (1970) 報告，在美國路州試植時，含糖率高達 16.85%，每公頃可產糖 3.40~3.81 公噸，如以生長期僅四個月論，則每公頃月產糖量達到 1.0~1.2 公噸，較甘蔗之 0.6 公噸約高一倍。臺灣糖業研究所於 1969 年自美國引進甜高粱，在五月播種者，每公頃產原料莖 27 公噸，種子 2.5 公噸，莖中含糖率 12.11%，每公頃糖產量 3.26 公噸。據夏及劉之研究，甜高粱在臺灣南部氣候土壤環境下，頗為適宜，惟其產量與品質隨季節之不同而異。

一般而言，春播以三月種植者最佳，平均公頃製糖莖稈產量達 35.28 公噸；夏播以四~五月為最佳，平均莖稈產量達 35.36 公噸；秋播則以七~八月為適期，平均莖稈產量 19.91 公噸，甜高粱品種間產量及含糖率之差異很大。由於甜高粱耐旱性強，生長快，對土壤的適應性廣，可利用機械大量栽培，可以進行宿根栽培，從播種至收穫之生長期間約為四個月，僅為甘蔗之四分之一而已；可利用製糖機械榨取糖汁，進而生產酒精，榨汁後蔗渣可作燃料；糖研所曾進行甜高粱榨汁之發酵試驗，生產之酒精濃度達百分之十，故以甜高粱糖汁製造酒精在技術上應屬可行。

以土地利用及能源之投入量較少之觀點來看，能粗放栽培之甜高粱為頗具發展潛力之生質能源作物之一。有學者預估，甜高粱理論酒精產量為每年每公頃 3,010 公升。其優點為：1.栽培容易，可用種子繁殖；2.需水量低，水分利用效率高；3.生長期短 （4 個月以內） ，單位時間產量高，適合現有栽培體系，適用機械播種、管理及採收；4.可宿根栽培。但其缺點為：1.播種後初期需雜草管理；2.產物體積較龐大，儲存及產製過程需較大空間；3.在農村景觀方面較不具美化特色。

二、適合於國內生產生質柴油之高油份含量作物：

（一）大豆：

大豆在植物分類學上是屬於大豆屬（*Glycine*），豆科（*Leguminosae*），蝶形花亞科（*Papilionoideae*），菜豆族（*Phaseoleae*）。大豆、向日葵、落花生、及油菜同列為世界四大油料作物。大豆原為溫帶作物，對溫度及日照敏感，但經常年馴化及品種改良，以可從溫帶北部到熱帶均可栽培。

大豆對水分的消耗量通常以田間蒸發散量（evapotranspiration）表示，全生育期約需 450~825 公釐，生育期愈短，消耗量亦愈少。對土質的選擇不嚴，除了過於粘重的土壤外，大部份的土質均可生長，但仍以土壤肥沃，有機質含量高的壤土最為適合。

臺灣大豆品種南部一年可栽培三作，北部亦可種植二作，其品種對光期鈍感，生育適溫 20~30℃。民國 33 年栽培面積約 2 萬公頃，產量約 1 萬公噸，49 年最高峰達約 6 萬公頃，因廉價大豆進口，85 年僅有 5 千公頃，目前則只有零星栽培，主要推廣用為綠肥作物。

臺灣在各改良場所育種改良下，已有三十幾個大豆品種推廣，生育日數約 90~120 天，播種期春作在 1 月~2 月間，夏作 6 月~7 月間，秋裡作 9 月~10 間，公頃產量可達 1500~3200 公斤，油份含量 17%~24%之間，為重要食用油來源。世界各國大豆平均公頃產量約 1000~3500 公斤，已開發國家平均約 2200 公斤，低油份含量品種約 13~14%，一般品種約 18~24%，高油份品種可達 26~27%。農試所作物種庫保存約六千多個大豆種原，油份含量在 9.7~34.2%，值得加以篩選利用。

大豆子實成分含量以蛋白質最高約 40%，油脂約 21%，碳水化合物約 34%，其不同部位含量略有差異 (表十) 。脂肪酸含量以不飽和脂肪酸之亞油酸約 50%最高，其次為油酸約 23%，不同地區之含油量及脂肪酸成分略有差異 (表十一) 。

表十、大豆子實各部位之化學成分

部位	占子實重量百分比	蛋白質	脂肪 (油)	碳水化合物	灰分
		---------------------------	%	---------------------------	
整粒子實	100	40	21	34	4.9
子葉	90	43	23	29	5.0
種皮	8	8	1	86	4.3
下胚軸	2	41	11	43	4.4

(資料來源:雜糧作物各論，1994，雜糧基金會出版)

表十一、臺灣各地區大豆含油量及脂肪酸組成分

成份	臺北	臺中	臺南	屏東	花蓮	臺東	平均
	--------	--------	--------	--% --	--------	--------	--------
含油量	21.5	24.0	22.8	23.3	19.8	21.5	22.2
棕櫚酸	14.3	15.0	14.9	13.2	13.5	14.8	14.3
硬脂酸	4.0	3.6	4.5	4.1	3.9	3.5	3.9
油酸	23.0	24.2	25.9	24.3	16.8	25.7	23.4
亞油酸	49.8	50.0	48.2	51.3	57.1	49.0	50.9
亞麻酸	8.8	7.0	6.7	7.2	8.5	6.9	7.5

(資料來源:雜糧作物各論，1994，雜糧基金會出版)

（二）向日葵：

俗稱葵花、葵花籽、日頭花、太陽花，英名 Sunflower、法名 Tournesol、西班牙名 Girasol、德名 Sonnenblume 、日名ひまわり，為菊科 (Compositae) 一生草本植物，原產美國西部。可分為油用、食用及觀賞用三型。

向日葵栽培的適應性，較其他主要經濟作物為廣。它可生長於廣大緯度範圍內，少雨量及短生長季節地區，尤以大部分溫帶地區最適於生長。一般來說，從北緯 49 度至南緯 41 度，年雨量在 350 公釐以上，凡可種植玉米的地區均可栽培。油脂產量比大豆高出二倍以上。在臺灣全年皆可生長，中南部較適合於秋裡作（9～10 月）栽培，6～7 月為颱風多雨季節避開為宜，生育初期高溫適中，生育後期低溫乾燥，不但產量高，種子品質好，且含油率高，油的組成分亦佳。其次為 2~3 月（春作）播種者，植株發育良好，但後期（4~6 月）高溫多溼，種子產品品質差，含油率亦低。栽培地區則以雲林以南為最適。臺南區農業改良於 71 年育成雜交向日葵台南 1 號。最近 2~3 年有較大面積之栽培，主要為秋裡作景觀、切花及綠肥用。臺南 1 號每公頃籽實產量在 1850 公斤左右，種仁含油率為 58%，每公頃平均油產量可達 600 公斤。殼與仁所佔的比率為 28.5 及 71.5%。1976 年從國外引進 36 個品種在臺灣春、秋作觀察試驗分析結果，平均含油率春作 46.2%，秋作 55.7%，範圍春作 40.3~52.7%，秋作 51.1~58.8%。

臺灣栽培向日葵常因大風及大雨造成倒伏，影響產量及品質，分析其產量構成要素如花序數、每花序種子數及百粒重影響種子大小及含油率 (表十二) ，花序數多大粒種子比率及油份含量較少，倒伏情形較嚴重。脂肪酸含量以不飽和脂肪酸之亞油酸 65.9% 及油酸 19.0% 最高，不同國家及種間其成分含量亦有不同 (表十三及十四)。

表十二、向日葵產量構成要素對種子大小、含油率及倒伏之影響

產量構成要素			大粒種子[1]	種子油分	倒伏
花序數／公頃	每花序種子數	百粒重(公克)	(%)	(%)	等級[2]
37,000	831	7.3	52	42.6	1.5
49,000	727	6.7	44	43.2	1.8
62,000	632	6.2	33	43.2	2.1
74,000	548	6.0	31	43.4	2.4
86,000	501	5.8	26	43.8	2.5
LSD 5%	---	0.2	8	0.6	0.2

註 1.食用品種在圓孔篩 0.8 公分以上。2. 1 直立，9 倒下。

(資料來源:雜糧作物各論，1994，雜糧基金會出版)

表十三、向日葵油脂肪酸組成分

地區	飽和脂肪酸			不飽和脂肪酸			
	棕櫚酸 C16：0	硬脂酸 C18：0	計	油酸 C18：1	亞油酸 C18：2	亞麻酸 C18：3	計
蘇聯	5.1~6.2	3.7~5.1	8.8~11.3	28.0~36.4	54.0~60.6	微量到 1	82.0~98.0
美國	5.8~6.2	4.0~5.6	9.8~11.8	14.8~21.7	66.7~74.5	~	81.5~96.2
台灣	11.0	4.2	15.2	19.0	65.9	微量	84.9

(資料來源:雜糧作物各論，1994，雜糧基金會出版)

表十四、向日葵種間粗脂肪及脂肪酸含量

種　別	收集數	粗脂肪 (%)	脂肪酸			
			棕櫚酸 16 : 0	硬脂酸 18 : 1	油酸 18 : 2	亞油酸 18 : 3
			-----------------------%------------------------------			
H. annuus	30	14~29	2.6~6.1	0.7~2.6	12.3~24.0	69.5~82.6
H. petiolaris	18	23~40	3.0~3.7	0.3~2.4	11.8~27.5	67.7~84.3
H. maximiliani	18	20~36	3.5~5.5	0.7~2.6	6.9~14.3	80.5~87.4
H. rigidus	12	16~31	2.5~4.2	0.4~2.5	9.9~18.0	74.5~84.9

(資料來源:雜糧作物各論，1994，雜糧基金會出版)

（三）油菜：

油菜是屬於十字花科蕓苔屬植物，油菜是世界上重要的油料作物之一，由於其在食用、飼料用、工業用和其他農業輪作利用上具有重要地位。臺灣油菜栽培面積在日據時期約有 1,000 公頃，其中以彰化、臺中、苗栗等縣栽培最多，而嘉義、南投、雲林亦有小面積栽培，主要皆利用水田冬季裡作培栽，主要栽培品種為屬於小油菜（*Brassica campestris* L.）的在來種。民國 48 年推出屬於大油菜（ *Brassica napus* L.）的新品種後，臺灣油菜栽培面積逐年增加，至民國 53 年達 20,000 公頃，年生產量 27,000 餘公噸，為歷年來台灣油菜生產最高峰。後因菜仔油中含有高量芥酸，對人體及動物有不良影響，菜仔油不再為消費者所接受，油價大跌，農民失去種植興趣，政府亦為國民健康，暫不推廣油菜栽培，而改自國外進口大量的植物油（如大豆沙拉油 ）。二次大戰結束以來世界油菜發展非常迅速，油菜栽培面積從 1950 年的 270 萬公頃， 發展至 2003 年已超過 2,700 萬公頃，已成為一種世界性的重要油料作物。臺灣種植時期：南部- 6 月上旬；中部 - 6 月上旬；北部 - 6 月中旬。生育日數：120-160 天。種子收穫適期：約開花後 2 個月，植株基部 1/3 高度的果莢黃熟時。種子收穫量：2,000-2,500 公斤/公頃。

（四）落花生：

為原產於南美之豆科作物。由大陸傳入臺灣，開始栽培之確切年代已不可考，唯一般推測落花生引入栽培之年代可能也是在 16 世紀後期，迄今約有 400 餘年之歷史。由於落花生之營養價值高、用途廣，在本省栽培面積也廣，已成為植省最重要之豆類作物之一。

落花生種子含粗蛋白質 22～30%及油分 44～56%，脂肪酸含量以不飽和脂肪酸之油酸 47.4%及亞油酸 37.5%最高，不同加工處理其成份含量略有不同(表十五)，適合食用、油用及加工，用途甚廣，為世界性之重要經濟作物。國內最高栽培面積曾達 10 萬公頃，近年種植面積仍能長久維持在二～三萬公頃之間之最重要雜糧作物之一。彰化、雲林兩縣為落花生主要產區，約佔臺灣栽培總面積 80%以上，莢果產量達 3000 公斤/公頃。

落花生之適應性大，對土壤及氣候條件之要求不嚴，故分佈極廣，自北緯 45 度至南緯 45 度之地區均有落花生之栽培。對土壤條件之要求並不嚴格，可說是一種耐瘠作物，任何農地皆可栽培，尤其是新墾地。但栽培落花生最理想之土壤為排水良好之壤質砂土（loamy sand）、砂質壤土（sandy loam）或砂質粘壤土。

好高溫之熱帶作物，生長期懼霜，在熱帶地區經年均可生長。生長期約 4~6 月，在溫帶地方為夏季作物，早熟種 105~135 日，中熟種 140~170 日，晚熟種 180~210 日成熟。溫度與種子含油量有密切之關係，在熱帶及高溫地區生產之種子含油量高。全臺大部分之地區一年皆可栽培兩作落花生。在南部地區由於冬季溫度較高，因此尚可栽植一作秋裏作，即一年可三作。

表十五、落花生油之脂肪酸組成

脂肪酸	無焙烘者	輕度焙烘者	中度焙烘者	重度焙烘者
棕櫚酸 (palmitic)	8.4	8.2	8.5	8.6
硬脂酸 (stearic)	2.0	1.9	2.2	2.2
油　酸 (oleic)	47.4	48.3	48.2	47.9
亞油酸 (linoleic)	37.5	37.1	36.2	36.4
花生酸 (arachidic)	1.2	1.4	1.5	1.4
二十烯酸 (eicosenoic)	1.1	1.0	1.0	1.1
山俞酸 (behenic)	1.6	1.5	1.7	1.7
二十四烯酸 (nervonic)	0.7	0.7	0.8	0.8

(資料來源:雜糧作物各論，1994，雜糧基金會出版)

結　語

臺灣利用休耕農地種植能源作物生產酒精及生質柴油，作為替代能源可對整體生態環境及農業提供許多貢獻，例如 10 萬公頃休耕地約可減少 33 萬噸 CO_2 排放量以及下列的好處：

一、密閉型的碳循環(Carbon cycle)，永續運用，不會增加CO_2含量，確保生態。

二、無毒性，可再生 (renewable) 而且生化可分解 (biodegradable) 性良好，而避免污染，健康環保安全性良好。

三、可維持耕地環境，永續利用。

四、解決休耕農地問題。

五、增加農民就業機會及促進社會發展。

六、水旱田輪流栽培作物可有效利用地利。

七、可節水，解決部分稻田缺水問題：

由於發展能源剛起步，生產成本偏高，須有相關研究及政策法令訂定，才能普及並降低生產成本，其能源作物研究重點如下：

一、篩選適合國內環境氣候之作物及品種，提高產量及能量產出/投入比。

二、栽培技術改進，以減少能源投入量及降低生產成本。

三、開發新興速生性之能源作物：如 C4 型作物或植物。

四、選育高產、高糖分、高油份，適合加工之作物品種。

五、選育具耐逆境、抗病蟲害、耐殺草劑性強之新品種。

六、提高作物能源及水分利用效率方法，以提高之淨能量。

參考文獻

王俠。1964。甘藷自交與雜交親和性及其他因子影響結實率之研究。中華農學會報新 48:1-2。

朱文深。1983。利用甜高梁原料生產酒精燃料之研究。臺大碩士論文。

李良、廖嘉信。1994。台灣甘藷品種改良之成就與展望。根莖作物生產改進及加工利用研討會專刊。台灣農業試驗所特刊 45:11-28。

吳耿東、李宏台。2001。生質能源-化腐朽為能源。科學發展。383: 20~27。

涂茂園。1982。生甘藷經常溫糖化生產酒精之研究。臺大碩士論文。

謝順景。1982。能源作物。科學農業 30(1-2)：74-85。

雜糧作物各論，1994，蔡文福主編，雜糧基金會出版，台北。

Aanrade, F., and Ferreiro, M. 1996. Reproductive growth of maize, sunflower and soybean at different source levels during grain filling. Field Crop Res. 48:155-165.

Bastianoni, S. and N. Marchettini. 1996. Ethanol production from biomass: a analysis of process efficiency and sustainability. Biomass and Bioenergy 11:411-418.

Bhat, M. G., B. C. English, A. F. Turhollow, and T. P. Nyangito. 1994. Energy in Synthetic Fertilizers and Pesticides: Revisited. Miscellaneous Publications, Department of Agricultural Economics and Rural Sociology, University of Tennessee, Knoxville, Tennessee.

Bona, S., G. Mosca, and T. Vamerali. 1999. Oil crops for biodiesel production in Italy. Renewable Energy 16:1053-1056.

Bonari, E., M. Mazzoncini, C. Petrini, R. Bazzocchi, and A. Masoni. 1996. Effect of irrigation and nitrogen supply on biomass production from sorghum in northern central Italy. Agr. Med. 126:217-226.

Bockey, D. 2006. Potentials for raw materials for the production of biodiesel.

WWW.ufop.de

Butler, B. J. and L. E. (1987). Effects of application methods on energy use. In: Energy in Plant Nutrition and Pest Control, eds B. A. Stout & M. S. Mudahar. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 257-266.

El Bassam, N. 1998. C_3 and C_4 plant species as energy source and their potential impact on environmental climate. Renewable Energy 15:205-210.

Cardone, M., M. Mazzoncini, S. Menini, V. Rocco, A. Senatore, M. Seggiani, and S. Vitolo. 2003 *Brassica carnata* as an alternative oil crop for the production of biodiesel in Italy: agronomic evalutaion, fuel production by trans esterification and characterization. Biomass and Bioenergy 25:623-636.

Cohen, M. F., and Mazzola., M. 2004. A reason to be optimistic about biodiesel: seed meal as a valuable soil amendment. Trends in Biotechnology. 22:211-212.

Gillard, C. L. 1993. A comparison of high input, low input and organic cash cropping systems. M. Sc. Thesis. University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada. 212 pp.

Green, M. B. 1987. Energy in pesticide manufacture, distribution and use. In: Energy in Plant Nutrition and Pest Control, eds. B. A. Stout& M. S. Mudahar. Elsevier, Amsterdam, pp. 165-177.

Gustavsson, L., P. Börjesson, B. Johansson, and P. Svenningsson. 1995. Reading CO2 emission by substituting biomass for fossil fuels. Energy 20(11) : 1097-1113.

Holčapek, M., P. Jandera, J. Fisclier, B. Prokeš. 1999. Analytical monitoring of the production of biodiesel by high-proformance liquid chromatography with various detection methods. Chromatography A 858:13-31.

Ivarsson, E. and C. Nilsson. 1988. Smelting temperature of straw ashes with and without additives. S.Z.C.B.S.C. 153:84.

Kallivroussis, L., A. Natsis, and G. Papadakis. 2002.The energy balance of sunflower production for biodiesel in Greece. Biosystems Engineering 81:347-354.

Gupta, K.K., and Khnna, K.R. 1982. Gene action and heterosis for oil yield and component characters in sunflower. Indian. J. Genet. Plant Breed.

42:265-271.

Gustavsson, Leif; Börjesson, Pål; Johansson, Bengt; Svenningsson, Per. 1995. Reducing CO2 emissions by substituting biomass for fossil fuels. Energy. Vol. 20(11): 1097-1113.

Helsel,Z R. 1979. Dry matter yield, nutritive composition, and combustible energy value of biomass grown in single and double cropping systems. Energy in agriculture collection. Michigan State University.

Hovelius, K., and Hansson, P-A. 1999. Energy and energy analysis of rape seed oil methyl ester (RME) production under Swedish conditions. Biomas and Bioenergy 17:279-290.

Liu, S.Y. and Liang, C. L. 1983 . Studies on the efficiency of alcohol production in sweet potato, cassava, and potato. J. agric. Res. China 32:111-121.

Lobb, D. 1989. A study of the impact of no-till on tractor fuel cost vs. crop returns. Agricultural Energy Centre, Guelph, Ontario, Canada. 19 pp.

Monti, A. and G. Vernturi. 2003.Comparison of the energy performance of fibre sorghum, sweet sorghum and wheat monocultures in northern Italy. Europ. J. Agronomy 19:35-43.

Mudahar, M. S. and T. P. Hignett. 1987. Energy requirements. Technology, and resources in the fertilizer sector. In: Energy in Plant Nutrition and Pest Control, eds B. A. Stout and M. S. Mudahar. Elsevier, Amsterdam, pp. 25-61.

Mc Clure, T.A. and D.A. Scantlland. 1979. Can sweet sorghum supply food, feed, fiber and fuel? The Sugar Journal: 37-38.

Ouellette-Babin, D. 1982. Energy input and output of grain corn and soybean production. Factsheet, Agdex 100/708, Ontario Ministry of Agriculture and Food, Toronto, Canada.

Parisi, F. 1988. Technical aspects and managements of the ethanol production from biomass crops. In: Agricultural National Association(ANA). Bologha, Italy. pp:11-55.

Piero, V. and V. Gianpietro. 2003. Analysis of energy comparison for crops in European agricultural systems. Biomass & Bioengery 25: 235-255.

Richardson, J. and Verwijst,. T. 2005. Sustainable bioenergy production systems: environmental, operational and social implications. Biomass and Bioenergy. 28:95-96.

Ralph, E.H. Sims. 2001. Bioenergy- a renewable carbon sink. Renewable Energy 22: 31-37.

Roos, Ay R. L. Graham, B. Hektor, and C. Rakos. 1999. Critical tactors to bioenergy implementation. Biomass and Bioenergy 17:113-126.

Scholz, V. and R. Ellerbrock. 2002.The growth productivity, and environmental impact of the cultivation of energy crops on sandy soil in Germany. Biomass and Bioenergy 23:81-92.

Shay, E.G. 1993. Diesel fuel from oils: status and opportunities. Biomass Bioenerg 4:227-242.

Southwell, P. H. and T. M. Rothwell. 1977. Analysis of output / input energy ratios of food production in Ontario. Report to Eng. Research Service, Agriculture Canada, Ottawa, ON. P.419

Stout, B. A. 1979. Energy for world agriculture. FAO, Rome.

Swanton, C. J. and S. D. Murphy. 1996. Weed science beyond the weeds: the role of integrated weed management (IWM) in agroecosystem health. Weed Science. 44: 437-445.

Swanton, C. J., S. D. Murplny, D. J. Hume, and D. R. Clements. 1996. Recent improvement in the energy efficiency of agriculture: Case Studies from Ontario, Canada. Agric. Systems 52:399-418.

Venendaal, R., Jorgensen, U and Foster,C. A. 1997 European energy crop: A synthesis. Biomas and Bioenergy 13:147-185.

Wilson, J. A. 1982. Tuberization in sweet potato (*Ipomoea batatas*,L.) *In Sweet potato.*editad by R. L. Villareal,and T. D. Griggs. AVRDC publishers, Tainan.Taiwan. pp:79-97.

Wonder, B. and D. Simpson .1982. Economics of large-scale and on-farm production of fuel from crops in Australia. Energy in Agriculture, 1(1987/1982):155-170.

Yamamoto, H., Y. Matsumura, and S. Sawayama. 2005. Evaluation of supply potential of energy Crops in Japan Considering Cases of improvement of crop production. Biomass and Bioenergy 29:355-359.

生質酒精之生產與利用

林昀輝、盧文章、李宏台

工業技術研究院能源環境研究所

前　言

運輸型車輛其主要動力燃料來源為汽柴油，而由於化石燃料使用對空氣污染嚴重，如產生大量的顆粒粉塵，CO_2 排放量高及毒性致癌物質如多環芳香烴 (PAHs) 等。據研究指出，運輸用燃料因燃燒產生的污染已成為空氣污染的主要問題（IEA, 2003）。為解決汽柴油的排氣污染問題及日益惡化的環境壓力，世界各國均積極研發其他能源替代現行運輸用燃料，目前主要的替代運輸用燃料為生質柴油及生質酒精，歐盟訂定生質燃料於 2005 年達到 2%，2010 年達到 5.75% 而於 2020 年達到 8% 的目標（以能量為計算基準）（European Commission, 2003），主要就是以生質柴油取代柴油，而以酒精取代汽油。現階段雖然生質柴油或生質酒精其製造成本高於傳統化石燃料，然而世界各國利用不同政策手段如減稅或其他優惠推動生質燃料的利用。酒精的生產製造是一個傳統而古老的行業，隨著燃料酒精的推廣使用，使得酒精製造出現新的生機，本報告將介紹燃料酒精之應用及其環保與能源效益，並針對澱粉作物轉化酒精之技術加以探討，分析其生產程序及成本，此外也將介紹相關技術未來的發展趨勢。

國外生質酒精應用情形

2004 年之全球酒精生產量超過 400 億公升，最主要的酒精生產國家為巴西和美國 (33%) 。在巴西所使用的原料為甘蔗，酒精年產量超過 150 億公升 (全球的 37%) ，在美國則以玉米為主要原料，酒精的年產量則超過 133 億公升 (全球的 33%) 。酒精最大用途為替代燃料，全球所生產的酒精中，約 70% 做為燃料酒精（RFA, 2005）。燃料酒精的利用是與汽油混合使用，例如 E10 即為以 10% 的酒精與 90% 的汽油混合，E85 則為 85% 的酒精與 15% 的汽油混合，目前在車輛的使用方面，以 E10 為燃料，汽車幾乎不需要做任何修改，目前亦有汽車製造商已開發可變燃料汽車 (flexible fuel vehicles)，其可利用無鉛汽油和任何比例的酒精做為燃料 (最高 85% ，E85)，目前主要是在美國與巴西使用。目前世界各國有關燃料酒精的計畫如表一（RFA, 2005） 。

巴西是目前發展生質酒精替代汽油最成功的國家，早在 1920 年代，

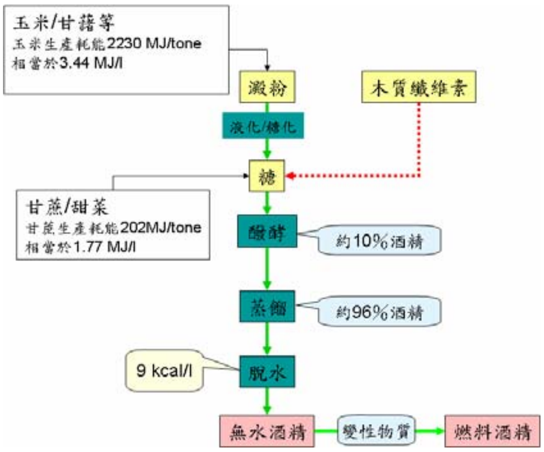
巴西就開始使用乙醇汽油。由於巴西石油资源缺乏，但盛產甘蔗，於是形成了用甘蔗生產蔗糖與酒精的成套技術。目前，巴西是世界上唯一不賣純汽油的國家，其汽油中酒精含量約 20-25％，此外亦有純使用酒精之車輛。美國是世界上另—個燃料酒精的主要消费國，根據統計，在 2004 年美國約添加 34 億加侖 (128 億公升) 至汽油中，約佔汽油使用量的 2% (v/v)（Davis and Diegel, 2004），此外，美國部分州也開始禁用 MTBE，而酒精即成為其最佳的替代品。歐洲使用生質酒精主要是將其轉化成乙基第三丁基醚（ETBE），少部分直接以酒精摻配。預計 10 年內，酒精的使用量 (ETBE 和直接摻配) 預計約達 3.79×10^{6} m^3/a。此外，隨著東歐國家加入歐盟，其亦將遵守歐盟的目標，因此整體酒精使用量將進一步增加。在亞洲，各國也積極推動使用生質酒精，例如在中國有需多省分在汽油中添加 10％ 酒精、印度也在 9 個州及四個地區添加 5％酒精，而日本目前也允許在汽油中添加 3％ 的酒精 (E3)。

表一、 世界各國酒精相關計畫

國家	燃料酒精政策
巴西	汽油中需添加 25％酒精
歐盟	生質燃料目標(以能量計算)：2005 年達 2％，2010 達 5.75％
加拿大	Sakatchewan：2005 年汽油需添加 7.5％酒精
	Manitoba：2005 年汽油需添加 10％酒精
哥倫比亞	2005 年 10 月後在大都市汽油需添加 10％酒精
泰國	要求曼谷附近加油站販售添加 10％酒精的汽油
中國	在部分省分要求摻配酒精
日本	2008 年汽油需添加 10％酒精，去年自巴西進口約 15 萬公秉之酒精

生質酒精生產程序

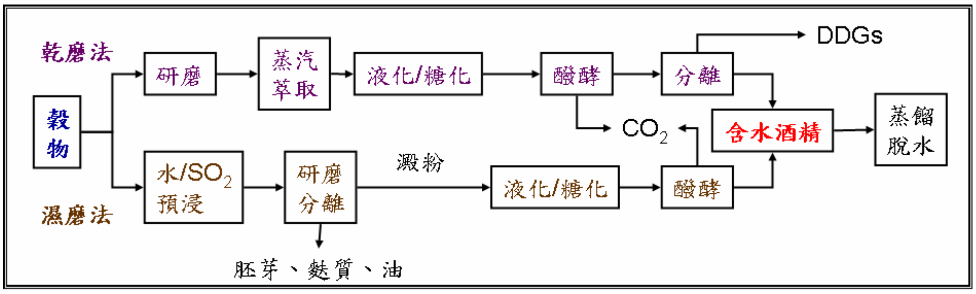
酒精被具有潛力取代汽油的運輸燃料，主要的生產方式是利用微生物以糖為基質醱酵生產(另外可以由乙烯進行水合反應生產)，目前商業化的製程以甘蔗 (巴西) 和玉米 (美國) 為主，另外也有以甜菜或小麥等穀物做為原料，木質纖維素雖然具有量大價廉的優勢，但是由於需要複雜的前處理才能獲得微生物能利用的糖，因此目前仍無商業化製程，酒精生產的示意流程圖如圖一所示。



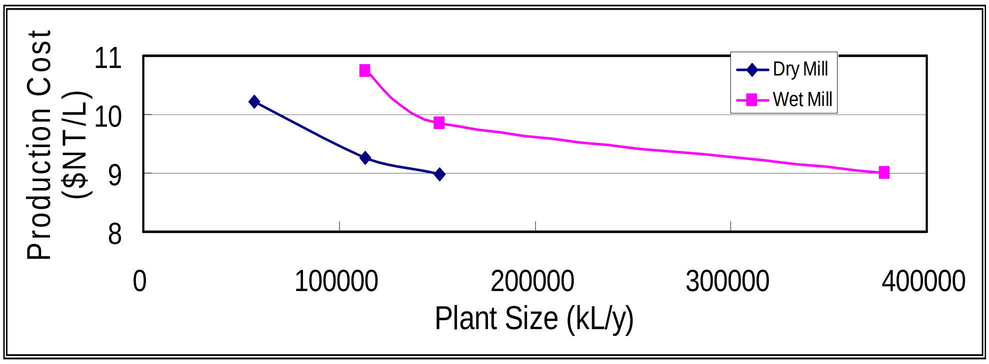
圖一、酒精生產流程示意圖

利用甘蔗做為原料時，可分為直接甘蔗汁醱酵與糖蜜醱酵，由於兩者均是富含微生物可利用的糖，因此醱酵之技術已相當成熟。甘蔗汁含糖率約 13-15％ ，可直接做為酒精醱酵之原料，此外若添加 0.05-.01％ 的硫銨與 0.01％ 的磷酸二鉀，則可以改善酒精醱酵效率，由甘蔗汁醱酵生產酒精，每公噸甘蔗約可產 80 公升酒精，亦即每生產 1 公升酒精約需 12.5 公斤的甘蔗。糖蜜為製糖工業的副產品，其中約含 35％ 蔗糖和 15％ 還原糖，其他還含有胺基酸、蛋白質、維生素等，是一種優良的醱酵工業原料，利用糖蜜做為原料的優點 (和甘蔗汁比) 在於糖蜜較耐儲存，新鮮甘蔗汁很容易酸壞。台糖以往即以糖蜜為原料生產酒精，不過隨著新營副產品加工廠的酒精工廠停工，目前國內已無酒精生產工廠。根據台糖的估算，以甘蔗產製酒精，每公秉酒精所需甘蔗種植成本約 18,000 元，營運成本 (包括產製與銷售) 約 16,000 元，合計約 34,000 元/公秉。此價格遠高於國際市場價格，若無法大幅改善，將無商業競爭力。

利用澱粉做為原料是另一項以成熟之技術，其中以美國利用玉米為最大宗，其生產技術可分為乾磨法與濕磨法，兩者的差異如圖二所示，兩者的差別在於乾磨法直接將穀物研磨後，經液化與糖化後進行醱酵，不能醱酵的殘渣經分離後可做為飼料，濕磨法則事先經過處理，將胚芽、麩質與油質分離，僅將澱粉部分進行液化與糖化後進行醱酵，其優點在於可將非澱粉部分分離，附加價值較高，但是需要較高設備成本，因此，需較大經濟規模方具有商業競爭力。圖三為此兩種程序生產酒精之生產成本比較，可發現濕磨法約需 2 倍大的生產規模時，其酒精生產才與乾磨法相當。



圖二、穀物醱酵生產酒精流程示意圖

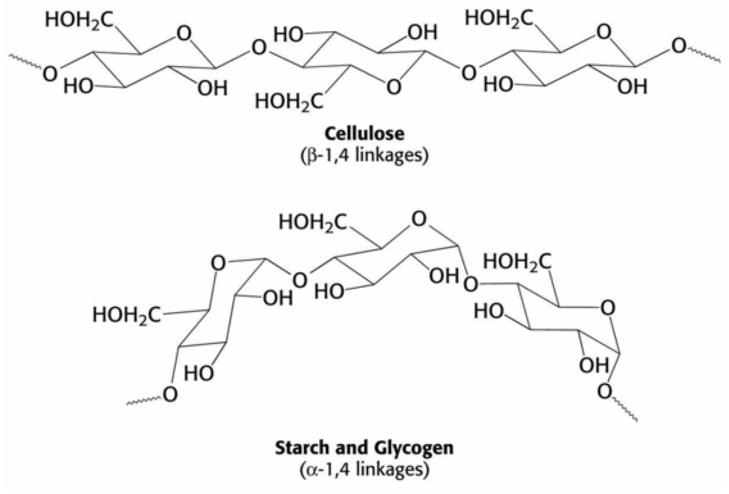


圖三、乾磨法與濕磨法生產酒精之生產成本比較（Whims, 2002）

甘薯具有適應性強且產量高的特點，國內也有大規模種植的經驗，是國內未來產製酒精可行的原料之一，利用甘薯做為原料，生產 1 公升酒精約需 8 公斤甘薯 (鮮重) ，依據 93 年農業統計年報作物生產第一種成本，甘薯的生產成本為 4 元/公斤，若依此計算光是原料成本即高達 32 元/公升。根據農委會農試所的資料顯示，其育成數種高澱粉含量的甘薯品種 (可高達 75 %以上) ，未來若配合大規模機械化栽種與採收，成本可降低至 2 元/公斤，若此目標可達成，則利用甘薯生產酒精的原料成本可降至 16 元/公升。此外木薯也是一種可能之作物，利用木薯生產酒精的原料時，生產 1 公升酒精約需 5.6 公斤的木薯，若能將其生產成本控制在 2 元/公斤，則其原料成本僅約需 11.2 元/公升。美國農業部估算以玉米製造酒精的生產成本，在年產 40 萬加侖的酒精工廠其製造成本 (不包括原料成本，但是考慮副產物收入) 約為每公升 4 元，若依此計算，則國內以甘薯和木薯製造酒精的成本約 15-20 元/公升，將具有一定的競爭力，但是必須注意上述的成本是基於國內甘薯或木薯的生產成本為 2 元/公斤，此一目標之達成有待透過育種/選種、大規模及機械化種植與採收等的發展才能達成。

質纖維素是藏量最豐富的生質物，其由纖維素、半纖維素與木質素所構成，纖維素雖然和澱粉一樣是由葡萄糖所構成，但是兩者的結構不同 (圖四) ，因此纖維素無法如澱粉一般可以輕易水解成葡萄糖做為微生物代謝

之基質，目前將纖維素主要的水解方式有兩種，一為酸水解另一為酵素水解，兩者的比較如表二；稀酸水解雖然快速，但是會生成呋喃類的化合物，其會抑制後續的醱酵，解決之道在於將此類毒性物質分離或者開發對此類化合物耐受力較高的酒精醱酵菌； 利用酵素水解雖然可以完全將纖維素轉化成葡萄糖，也可避免酸水解產生抑制物的問題，但是纖維水解酵素較為昂貴，而且其轉化速率較慢未來成功之關鍵在於大幅降低酵素生產成本及增加生物反應效率。半纖維素為多種糖類的聚合物，其中以木糖的含量較高，其分子量遠比比纖維素低，通常在利用酸或鹼對木質纖維素處理時即會水解，但是木糖為五碳糖，無法有效做為酒精醱酵之基質，目前有利用基因改良的方式，使得酒精醱酵菌能夠代謝木糖，但是目前仍屬實驗室測試階段。



圖四、纖維素與澱粉結構之差異

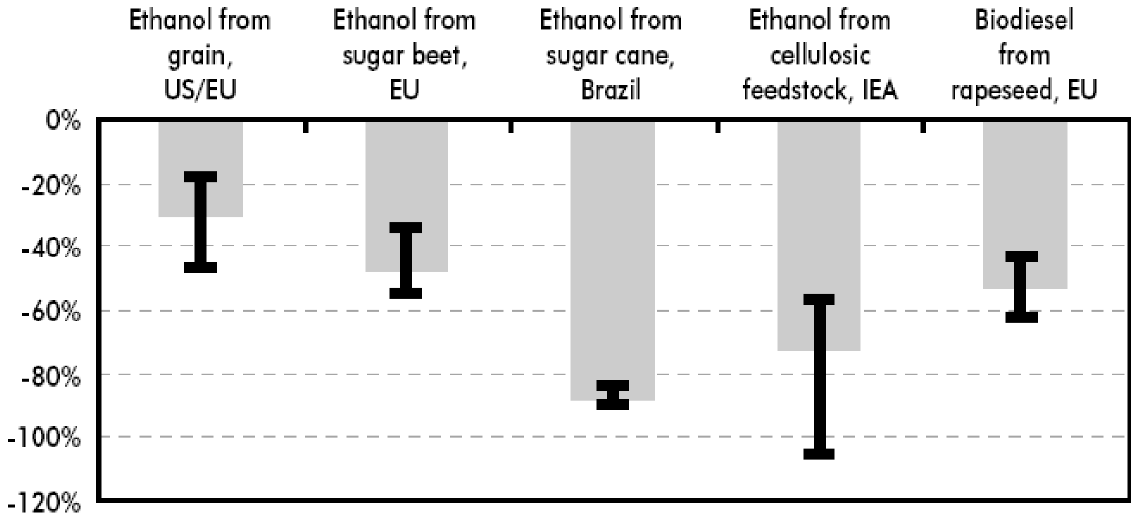
表二、纖維素酸水解與酵素水解之特性比較 （Bungay, 2004）

特點	酸水解	酵素水解
最大產率	80%	99%
前處理	破碎	研磨或爆裂
觸媒	強酸	酵素
觸媒製備	無	醱酵技術
整體產率	80%	85%
糖的品質	可能會有醱酵抑制物	適合醱酵(五碳糖除外)
廢棄物	大量污泥	處理後廢棄物較少
設備成本	相對較低	很高

生質酒精之環境與能源效益

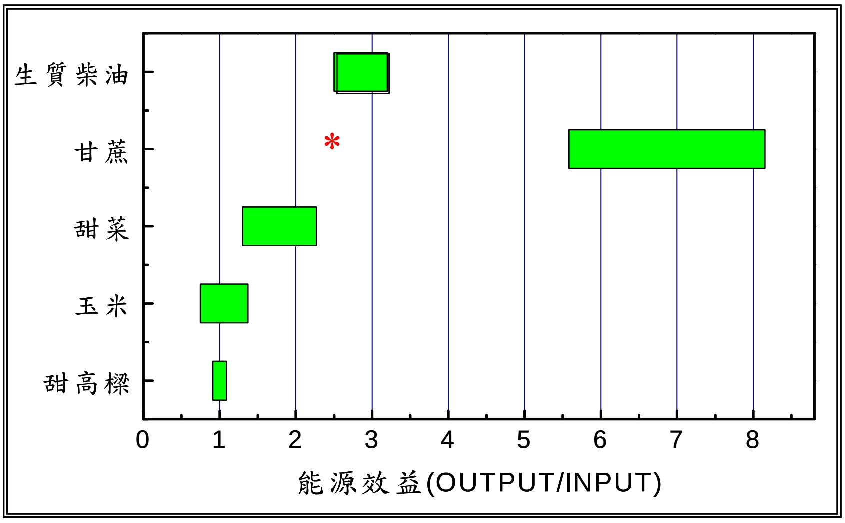
根據國際能源總署 (International Energy Agency, IEA) 的報告顯示（IEA, 2004），相對於傳統汽油，添加 10% 酒精 (E10) 可降低許多污染物的排放，但也會造成部分污染物增加，其效應和添加 MTBE 做為增氧劑類似。其中最大效應在於降低一氧化碳的排放，E10 可減少 25% 以上的一氧化碳排放。而其對於揮發性有機物和氮氧化物 (NOx) 的影響尚不清楚，這兩者在大氣中反應會生成臭氧，其中揮發性有機物逸出增加，乃是因為酒精汽油的蒸汽壓 (雷氏蒸汽壓，Reid Vapor Pressure) 較高所導致，對於 NOx 的排放，在車輛引擎的排放中，在低濃度摻配酒精時， NOx 的排放可從減少 10% 到增加 5% ，但是若考慮整個酒精的生產過程 (包括種植與轉製等) ，則 NOx 的排放則會更明顯增加。隨著酒精添加量增加，毒性物質 (如苯、甲苯、二甲苯、1,3 丁二烯) 的排放會降低，其主要是因為酒精有稀釋作用，此外諸如甲醛、乙醛和過氧硝酸乙醯酯 (peroxyacetyl nitrate, PAN) 等的排放則會增加，其主要是由排氣中污染物在大氣中的二次化學反應生成，其中 PAN 對眼睛有刺激性，對植物也有害。

相對於傳統汽油，生質酒精可以降低溫室效應氣體排放，在 well to wheel 的基礎上，生質酒精溫室效應氣體減量效益如圖五所示，隨著原料不同，其減量效益也有所差異，其中以穀物或甜菜做為原料，約減少 20-50%，略低於生質柴油的減少 40-60% ，不過在巴西以甘蔗為原料可減少約 90% ，利用纖維素生產酒精雖然尚未有商業化製程，不過依照估算結果其可減少 60-100% 的溫室效應氣體。因此，面對目前全球一片降低溫室效應氣體排放的呼聲中，使用生質燃料 (包括生質酒精與生質柴油) 將是一種趨勢。



圖五、生質燃料對於溫室效應氣體之減量效益

在討論酒精之能源效益時，主要在於酒精所能獲得的淨能量，通常會以產出/投入比表示，亦即以酒精生產所投入之能量 (包括種植、收成、運輸與轉化) 與所獲得酒精之能量比。產出/投入比大於 1 表示可獲得正的能量，亦即所獲得能量大於投入之能量，反之小於 1 時，所獲得能量不足以提供投入之能量。圖六為生質柴油與生質酒精之能量產出/投入比，圖六中顯示，以油菜籽生產生質柴油之產出/投入比約為 2.5-3.2，在生產酒精時，以糖質作物為原料可獲得較佳產出/投入比，在巴西以甘蔗為原料更可高達 5.5-8.3，但是在以澱粉作物為原料時，產出/投入比僅為 1 左右，對於以玉米為原料生產酒精的能源效益，關於玉米酒精得能源效益一直是一個討論的重點，美國能源部在 2002 年曾經整理過去 10 年間的相關研究，雖然結果有正有負，但是近幾年的結果比較傾向玉米酒精具又正面效益。其中影響能源效益的幾個主要因素如下：一、單位面積產量；二、酒精轉化效率與能量需求；三、肥料生產所需能量；四、是否需灌溉；五、副產品 (主要用作飼料) 所含能量計算。



圖六、生質燃料之能源效益(*為台糖在 1985 年估算值)

結　語

面對石油等化石能源日益枯竭之趨勢，世界各國無不積極開發再生能源做為因應之道，發展生質燃料具前瞻性，國內目前在政府積極推動之下，朝此方向努力發展。各國在推動生質燃料時大部分是結合其國內農業發展，例如巴西的甘蔗酒精、美國的玉米酒精及大豆生質柴油、歐盟油菜籽生質柴油及甜菜/小麥酒精，其最主要目標在於減少對化石燃料及進口能源之依賴，並達到使用潔淨與再生能源之目標，若是依然採進口為主(原料或成品)，則仍然無法增加能源自主性。因此，國內發展生質燃料之料源也儘可能應以國內生產為主，而所需技術也應建立國內自主性技術為目標方為長遠之計，國內目前每年休耕農地達 24 萬公頃，如何運用國內休耕農地生產生質燃料所需之料源，兼及環保、農經及能源等效益值得探討，但是若採獎勵補助政策引導，必須注意避免造成政府長期負擔。國內未來發展生質酒精成功之關鍵在於降低生產成本提高競爭力，其中又以原料成本最為關鍵，包括增加單位面積產量，降低耕種與收成之成本等。此外，建構完善的使用環境亦是重要的一環，未來需透過教育宣導、進行實車道路測試及耐久測試等工作，並建立相關運轉和排放資料，增進民眾使用意願和信心，進而加速生質酒精的推動。

參考資料

European Commission, Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council of May 2003- on the Promotion of the Use of Biofuels or other renewable Fuels for Transport. Official Journal of the European

Union, L 123/42, (2003).
RFA. (2005) Ethanol Industry Outlook 2005, Renewable Fuels Association .
Davis S.C., Diegel S.W. (2004) Transportation Energy Data Book (Technical Report No. ORNL-6973, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN) .
Bungay H.R. (2004) Confessions of a bioenergy advocate, Trends in Biotechnology, 22 (2), 67-71
IEA. Biofuel Fuel for Transport: An International Perspective, International Energy Agency (2004)

臺灣潛在的生質柴油料源對其產出生質柴油物性的探討

李唐　張志毓

臺灣新日化股份有限公司

前　言

生質柴油主要是由動植物中的三酸甘脂所轉化而來，三酸甘油脂的共同的結構為一個甘油分子接三個脂肪酸，不同生物種類有不同脂肪酸的配比與結構，經轉酯化後產出的脂肪酸甲酯在作為柴油內燃機燃料油時會呈現不同的功能或特性。但各國在推廣生質柴油時所選定的料源除了產出的脂肪酸酯的燃料特質外，還必需考量本國的地理氣候條件、農業經濟及資源有效利用的因素，或是周邊國家的料源是否容易取得，使用的油脂會因地區而異。

台灣現階段而言，回收食用油因為價格較低且為立即可取得的料源、其內含物基本上為飽和度低的油脂如黃豆油或棉子油及飽和度高的的油脂如棕櫚油、豬油或牛油所混合而成。除回收油外，黃豆油、葵花油、及菜子油亦可作為生質柴油料源，可藉由栽種此作物產出油脂作為生質柴油的料源，而花生在台灣已為長久存在的農產品，若作為能源作物，可不需經試種即擴大栽種面積並導入能源用途。本文針對此四種能源作物及回收油製成生質柴油後進行其燃油特性的研究。上述的料源中的三酸甘油脂的脂肪酸除了高芥酸的油菜子油及花生油外，主要成份 (96%以上) 均屬於下列五種脂肪酸，分別為飽和的十六碳的棕櫚酸 (palmitic acid) 及十八個碳的硬脂酸 (stearic acid) ，一個不飽和雙鍵的油酸 (oleic acid) 、二個不飽和雙鍵的亞麻油酸 (linolic acid) 及三個不飽和雙鍵的次亞麻油酸 (linolenic acid) 。

五種主要的脂肪酸甲酯做為柴油內燃機燃料油會在不流動點、十六烷值及氧化安定性有顯著的差益，在蒸餾範圍及黏度上有輕微的差異。就不流動點而言，飽和的棕櫚酸及硬脂酸的不流動點在室溫以上，若此二成份含量過高，低溫使用時可能會有結晶現象而造成過濾器阻塞，就不飽和的脂肪酸甲酯而言，油酸甲酯即可達零下 20 度，其它二種不飽和脂肪酸甲酯的不流動點可更低。就十六烷值而言，飽和的脂肪酸甲酯具有相當高的十六烷值，二者皆在 70 以上，隨著不飽和的雙鍵愈多，則十六烷值明顯

降低，油酸甲酯尚有 55-59，亞麻油酸甲酯為 42，次亞麻油酸甲酯降至 21，生質柴油的十六烷值與各組成百分比所加總的十六烷值相近。氧化安定性亦隨著不飽和雙鍵增加而減弱，若將單一不飽和雙鍵的油酸的易氧化程度定為 1，則飽和的棕櫚酸及硬脂酸趨近於零，但含二不飽和雙鍵的亞麻油酸易氧化程度為 41，含三不飽和雙鍵的次亞麻油酸易氧化的程度則高達 98，但植物本身會因為其含油不飽和脂肪酸較多而相對產生天然的抗氧化劑如維生素 E 或類似天然化合物，具有一定程度的抗氧化力。就黏度而言，雖然長鍊的飽和的脂肪酸甲酯黏度稍高，最高的硬脂酸甲酯在 40 度的黏度為 4.75，較低的次亞麻油酸甲酯為 2.65。蒸餾範為僅美國及澳洲有訂定規範，棕櫚酸甲酯較低，在 320 度附近，十八個碳的脂肪酸較高，在 340 度左右，皆在美國規範內。

脂肪酸甲酯的結構對柴油內燃機燃料特性影響

動植物油脂中的三酸甘油脂的脂肪酸的結構變化主要為碳鏈長短及不飽和雙鍵的位置及數目，部份植物油脂中的脂肪酸有特殊的官能基如蓖麻酸，除在 9,10 碳上有一雙鍵，在第 12 個碳上還油一羥基 (OH) 。大多數的脂肪酸的碳數為 16 及 18 二種，不飽和雙鍵則主要在 18 個碳的脂肪酸出現，一個十八個碳的脂肪酸可能有 0 至 3 個不飽和雙健。表一為各脂肪酸甲酯 (含甲酯基) 碳數組成及不飽和雙鍵。

表一、主要的脂肪酸甲酯的碳數結構及其物性。

脂肪酸甲酯	甲酯總碳數	雙鍵數(位置)	甲酯熔點	脂肪酸熔點	沸點	備註(脂肪酸存在於的生物體)
辛酸甲酯	9	0		16.5 ℃	193 ℃ (760Torr)	於棕櫚仁油; 椰子油; 巴巴蘇油
癸酸甲酯	11	0		31.5 ℃	224 ℃ (760Torr)	於棕櫚仁油; 椰子油; 巴巴蘇油
月桂酸甲酯	13	0	5℃	44 ℃	266 ℃ (760Torr)	棕櫚仁油; 椰子油; 巴巴蘇油的主要脂肪酸
肉豆蔻酸甲酯	15	0	18.5 ℃	58 ℃	295 ℃ (760Torr)	於棕櫚仁油; 椰子油; 巴巴蘇油
棕櫚酸甲酯	17	0	30 ℃	63 ℃	164℃(3.75Torr); 324 ℃(750Torr)*	各種油脂皆有, 棕櫚油最多, 動物油含量較高
硬脂酸甲酯	19	0	39 ℃	71 ℃	215 ℃ (7.5Torr) 339 ℃(750Torr)*	各種油脂皆有, 動物油含量較高
油酸甲酯	19	1(9)	-20 ℃	16 ℃	339 ℃(750Torr)	各種油脂皆有
亞麻油酸甲酯	19	2(9,12)	-35 ℃	-5 ℃	232-232℃(17Torr)	各種油脂皆有
次亞麻油酸甲酯	19	3(9,12,15)	-52 ℃	-11 ℃	182℃(3Torr)	高飽和的動植物油較少
芥酸甲酯	23	1(13)		33-34 ℃		高芥酸油菜油的主要脂肪酸

一、碳鏈長度：

動植物油脂的三酸甘油脂的碳鍊最短的存在於奶油中，為四個碳的脂肪酸，最長的可達二十四個碳，在非熱帶地區最常用作為食用油內所含的脂肪酸以十六及十八個碳為主，而歐洲、美國、日本及澳洲的生質柴油的規範也是針對十六及十八的碳而定，熱帶地區所產出的椰子油、棕櫚仁油及巴巴蘇油則含低碳數脂肪酸 (C8-C14) 的三酸甘油脂，其中以 C12 的脂肪酸最多。 高於 20 個碳數的油則在魚油中常出現，原生的油菜含有 45% 的芥酸，主要為 22 個碳，但此高芥酸的油菜油具有毒性，不適合食用。

脂肪酸碳鏈長短所影響到生質柴油物性主要為沸點，美國國家標準設立了蒸餾範圍的規範，在相當於大氣壓及攝氏 360 度的條件下 (實際操作的條件則減壓降溫蒸餾) ，須有 90% 的物質蒸出，除芥酸甲酯，主要可食用脂肪酸衍生的甲酯化合物均在 350 度以下，而較十九個碳的脂肪酸甲酯多出四個碳的芥酸甲酯的沸點雖無參考資料，但依增加 2 個碳沸點增加 15-20 度的趨勢來看，芥酸甲酯的理論常壓沸點極有可能超過 360 度。因此可接受高芥酸油菜油的歐洲規範則未訂定蒸餾範圍。

二、不飽和雙鍵：

不同的動植物油中的脂肪酸有特定的組成，脂肪酸中的不飽和雙鍵在物性上影響到生質柴油的不流動點、氧化安定性、十六烷值及黏度。碘價是測定不飽合雙健多寡的一個指標。

霧點及不流動點會影響到油品在寒冷氣侯下的使用，霧點是油品在開始產生不熔物的溫度，此不熔物容易造成過濾器阻塞。流動點是使燃料油完全凝固的溫度，影響到油品此二特性最主要因素為油脂中脂肪酸的不飽和雙鍵的多寡 (表一) ，不飽和雙鍵愈多則熔點愈低。

油品長時間儲存會產生氧化分解的現象，生質柴油來至天然的動植物中，雖然已經過轉酯化處理，但仍然會有氧化分解的情形，脂肪酸中的雙鍵先與氧結合形成過氧化物，再進一步反應及斷裂行成醇、酮、醛等物質，最後階段則形成酸，所以酸敗已是氧化的最後階段，產生氧化分解的生質柴油會使得油品的酸價升高並有不溶物產生。來至於動植物油的生質柴油通常含有天然的抗氧化劑如維生素 E，但若經過蒸餾的加工處理會使的維生素 E 與脂肪酸甲酯分離，則可能失去保護作用。就單一的脂肪酸甲酯而言，不飽和雙鍵愈高則愈易被氧化。就十八個碳的不飽和脂肪酸甲酯而言，油酸 (第九個碳有雙鍵) 的易氧化程度若設定為 1，則亞麻油酸 (第 9 及 12 的碳有雙鍵) 的易氧化程度為 41，次亞麻油酸(第 9，12 及 15 個碳上有酸鍵)的易氧化程度為 98。飽和的脂肪酸的易氧化程度則趨近於 0。

不飽和雙鍵與碳鍊長短亦會輕微影響的油品的黏度。油品的黏度會影響的車輛霧化器噴射的效率，化石柴油的黏度為 2.0-4.5mm^2/sec，生質柴油的美國規範為 1.6-6.0 mm^2/sec，歐洲規範為 3.5-5.0 mm^2/sec，通常脂肪酸鏈愈長則黏度愈高，不飽和雙健較高的植物油的黏度較低 (表二) ，動物油較高。另外，未反應物如脂肪酸甘油酯、皂及脂肪酸殘餘量愈多亦會造成黏度偏高。

但是黏度通常拌隨著潤滑性，生質柴油絕佳的潤滑性正是其在作為柴油動力機具燃料油的一項重要特性，添加 2%的生質柴油於脫硫的化石柴油中，足以補強其因脫硫所損失的潤滑性。

表二、 各項脂肪酸甲酯的十六烷值及度

脂肪酸甲酯	十六烷值	黏度(40^{o}C;mm^2/S)
棕櫚酸甲酯	74.5[1]	4.32[2]
硬脂酸甲酯	86.9[1]	4.74[3]
油酸甲酯	59[4]	3.73[3]
亞麻油酸甲酯	42[4]	3.64[2]
次亞麻油酸甲酯	22.7[2]	3..27[2]

生質柴油的十六烷值隨著不飽和雙鍵的增加而減少，十六烷值影響柴油引擎的燃，十六烷值愈大，燃燒點火時間則點火時間愈短，反之亦然，十六烷值過高的會導致點火時間過點燃燒不完全，十六烷值過小會有引擎不點火、引擎溫度過高及不平滑的現像發生，一般化石柴油的十六烷值在 40 以上，生質柴油的十六烷值與脂肪酸的結構有密切關係，飽和的脂肪酸甲酯的十六烷值較高，不飽和雙鍵的十六烷值則較低 (表二) ，若生質柴油已產生氧化現象，則十六烷值會升高。一般而言，不飽和雙鍵較多的植物油所衍生的生質柴油的十六烷值較低，而動物油脂所衍生的生質柴油的十六烷值較高。

臺灣的潛在自產料源所製程的生質柴油

目前在台灣可用以製造生質持柴油的油脂除實驗栽種中的黃豆、葵花及油菜籽外，在本地已成功栽作的花生所產出的花生油亦為一潛在的料源。另外，回收食用油已作為生質柴油的料源，其組成雖因料源而異，但基本上可取得的料源為動物油及植物油所混合而成的酥油。表三為各潛在能源作物中油脂的碳數組成。

表三、主要潛在油脂能源作物的碳數組成及碘價。

	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18::3	≧C20	碘價(I2 g/100g)
黃豆油	8-12	3-6	18-25	49-57	6-11	-	125-138
葵花油	8-12	3-5	14-34	55-73	0.4	-	122-139
菜籽油(高芥酸)	2-4	1-2	11-24	10-22	4-13	41-53	97-110
菜籽油(低芥酸)	3-6	1-3	55-26	17-25	8-11	<2%	94-120
花生油	6-12	1-6	36-72	13-45	0-1	5-10	80-106
回收油							90-110

表三為潛在的能源作物產出油脂的碳數組分佈及其碘價。轉化為脂肪酸甲酯後，各單項的脂肪酸甲酯依其比例決定了油品的低溫流動性與十六烷值及儲存的抗氧化安定性。由於適合台灣栽種的能源作物產出油主要為不飽和脂肪酸所組成，所以在黏度的差異較小。表四分別列出各項植物油脂轉化為脂肪酸甲酯的理論或實測十六烷值，理論計算是依據單項脂肪酸甲酯的十六烷值依比例加總所得。

表四、不同總類油脂製成生質柴油的十六烷值

料源	菜籽油(低芥酸)	黃豆油	葵花油	花生油*
十六烷值	56[5]	49[6]	54[7]	>51

* 花生油由理論計算而得，碳數大於 18 的脂肪酸甲酯無參考資料，但僅就已知的十六及十八個碳的脂肪酸甲酯加總已達 51。

生質柴由在使用上通常是與市售的柴油複配，將各項料源產出的生質柴油添加不同比例於化石柴油中，生質柴油添加比例以 Bxx 表示，如 B20 代表含有 20% 的生質柴油及 80% 的化石柴油，本文所使用的化石柴油取至中油直營加油站，其品名為超級柴油，結果見表五。

表五、不同料源製成生質柴油與超級柴油複配的霧點及不流動點

總類		B0	B100	B20	B5	B2
超級柴油	霧點	-6.0°C				
	凝固點	-10 °C				
黃豆生質柴油	霧點		1.5°C	-5°C	-5°C	-4°C
	凝固點		1.0C	-10C	-10C	-10C
花生生質柴油	霧點		2.0°C	-4.5°C	-4°C	-4°C
	凝固點		-1.0C	-10C	-10C	-10C
菜籽生質柴油	霧點		-4.5°C	-6°C	-6°C	-5°C
	凝固點		-9C	-10C	-10C	-10C
葵花生質柴油	霧點		1.0°C	-5°C	-5°C	-3°C
	凝固點		-7.0C	-10C	-10C	-9
一回收油產製	霧點		6.0°C	-6°C	-6°C	0°C
生質柴油	凝固點		3.0°C	-10°C	-10°C	-10°C

黃豆生質柴油的十六烷值在較其它的料源產出的生質柴油低，但仍比化石柴油的十六烷值高，其碘價超過了 120，已無法符合歐洲的生柴油規範，而歐洲定此規範正是為了要排除價格較低的黃豆油，以保護其為了與小麥輪作所產出的油菜籽，但就低溫特性而言，黃豆生質柴油仍在 0°C 附近，就氧化安定性而言，最不安定的的次亞麻油酸甲酯 (C18:3) 含量在 6-11%，通常為 7.8%。

菜籽生質柴油的燃油特性在十六烷值及低溫的流動特性是目前已知的生質柴油中較佳的。其十六烷值為 56，可食用菜籽油的霧點低達零下 4.5 度，然而就氧化安定性而言，雖然菜籽生質柴油的碘價較黃豆生質柴油低 (97-110) ，但其最不安定的次亞麻油酸甲酯含量仍偏高，可食用的菜籽油又稱卡洛拉油為 9.2%，不可食用的為 7.3%，所以雖然碘價較黃豆油低，但不必然表示其氧化安定性較黃豆油佳，碘價較低主要原因是含一不飽和鍵的油酸甲酯較高，而含二不飽和的亞麻油酸甲酯較低。

葵花生質柴油的不流動點在冰點附近，十六烷值為 54，雖然其碘價在 120 以上，超出歐洲的規範，但值得注意的是氧化安定性最差的次亞麻油酸甲酯的含量在 1%以下，若單就此點而論，以葵花油製成的生質柴油相對而言是較安定的。

花生油的脂肪酸含有較多比例的高碳數脂肪酸，但單就已知十六烷值的脂肪酸甲酯含量所推算出的加總十六烷值以達到歐洲規範的 51，其碘價

為 80-106 之間，霧點亦在冰點附近。不穩定的次亞麻油酸甲酯含量不到 1%，在十六烷值、氧化安定性及低溫流動特性上皆適合作生柴油的料源。

回收食用油通常含有飽和度高的動物油或棕櫚油及高不飽和的黃豆油，所取得的油品的碘價在 90-110 之間，雖然碘價高，但來至動物脂肪或棕櫚油的飽和脂肪酸使得其霧點及不流動點界於不飽和度高的植物油及動物棕櫚油之間。

參考文獻

B. Freedman and M. O. Bagby, J. Am. Oil Chem. Soc. 62: 1029-1031 (1985).
T. H. Gouw, J. C. Vlugter and C. J. A. Roelands, J. Am. Oil, Chem. 43: 433-434(1966)

C. A. W. Allen, K. C. Watts, R. G. Ackman and M. J. Pegg, Fuel 78: 1319-1326(1999).

G. Knothe, M. O. Bagby and T. W. Yyan, SAE Technical Paper Series No. 971681, published in SP-1274, SAE Spring Fuelss and Lubricants Meeting, Dearborn, Michigan, May 1997.

T. M. Bouche, M. Hinz, R. Pittermann and M. Herrmann, SAE Technical Paper Series 2000-01-1969, 2000.

A. Yahya and S. J. Marley, Biomass Bioenergy 6: 321-328 (1994).

F. Avella, A. Galtieri and A. Fiumara, Riv. Combust, 46: 181-188 (1992)..

耐高溫菌在環保和農業之利用

楊盛行

國立臺灣大學微生物與生化學研究所

摘　要

由果菜市場蔬果廢棄物和農產廢棄物稻草、稻殼和玉米穗軸堆肥中分離耐高溫菌，選擇生長較快和酵素活性較高之放線菌分離株及高溫酯解菌，接種耐高溫纖維素分解菌及高溫酯解菌處理農產廢棄物和製作生物肥料，比較其對作物生長及土壤性質之影響。耐高溫放線菌分離株 56 號纖維素分解酵素之作用機制，先由外切型纖維素分解酵素(Avicelase)將結晶型的區域，由非還原端將纖維雙醣切下後，再由內切型纖維素分解酵素(CMCase) 從非結晶型區域內部任意打斷 β-1,4-葡萄糖苷鍵結(β-1,4-glucosidic bond)，最後由分解纖維雙醣的 β-葡萄糖苷酵素(β-glucosidase)切斷雙醣間的鍵結。放線菌分離株 56 號其 Avicelase 的活性是 CMCase 的 6 倍。在製作生物肥料時，分別接種放線菌分離株 40 號和 56 號及兩種分離株混合於稻草豬糞生物肥料中，放線菌分離株 56 號提高生物肥料水份含量和灰份含量優於放線菌分離株 40 號、混合接種菌株及不接菌的控制組；而接種分離株 40 號及混合菌株提高生物肥料總氮含量和固定態氮含量則優於其他兩組，接種分離株 40 號其 C/N 比下降最多。當於含有油脂之廚餘接種高溫酯解菌時，堆積 21 天時廚餘處理機 A(接種)及 B(未接種)苜宿種子發芽率分別為 95% 及 87%，顯示生物肥料中對於抑制種子發芽物質已被微生物代謝成穩定無害狀態，生物肥料進入腐熟狀態，堆積 28 天時除水分含量外，廚餘處理機 A 及 B 之 pH、總有機碳、總氮、及 C/N 比等皆符合垃圾堆肥品質標準，其中接種分離株 *Brevibacillus borstelensis* SH168 之廚餘處理機 A，堆肥化過程溫度明顯較高且有機碳含量及粗脂肪含量分解率較未接菌廚餘處理機 B 為高，接種分離株 *Bv. borstelensis* SH168 於廚餘處理機可使廚餘處理機中發酵溫度升高，促進有機物質分解。廚餘原料中粗脂肪含量嚴重影響堆肥化進行，接種高溫酯解菌，可加速有機物質分解與提高品質。由上可知，生物肥料製作過程中，接種適當之高溫菌對生物肥料之腐熟有正面成效，具應用上潛力。

關鍵字: 耐高溫微生物、酯解菌、生物肥料製作、纖維素分解酵素、腐熟、總氮含量、固定態氮含量、C/N 比。

Application of Thermo-tolerant Microbes in Environment and Agriculture

Shang-Shyng Yang

Department of Biochemical Science and Technology
Institute of Microbiology and Biochemistry
National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan

Abstract

Thermo-tolerant microbes were isolated from the biofertilizer and compost of the mixture of vegetable-market waste, rice straw and rice hull at 50^{o}C for the measurements of growth rate and cellulolytic activity. Among them 2 isolates of thermo-tolerant actinomycetes were chosen. In submerged culture, isolate No. 56 had high Avicelase activity at 2nd day, CMCase and filter paper activities at 4th day, and β-glucosidase activity at 5th day. Cellulosic materials were degraded first by Avicelase from the non-reducing end, then by CMCase from the non-crystal region and by β-glucosidase at cellulobiose. Avicelase activity was 6-fold of CMCase. During 31 days biofertilizer preparation of the mixture of rice straw and hog waste (4:1 w/w), biofertilizer inoculating with isolate No. 56 had high final moisture content and ash content. Biofertilizer inoculating with the mixed cultures (isolates No. 40 and No. 56) and isolate No. 40 had high total nitrogen content and immobilized nitrogen content, while biofertilizer inoculating with isolate No. 40 had low C/N ratio. In the biofertilizer preparation from food wastes with high oil content, inoculation of thermophilic lipolytic *Brevibacillus borstelensis* had higher temperature, organic carbon and crude fat degradation rates than the control without inoculation. Therefore appropriate inoculation of thermo-tolerant or thermophilic microbes in biofertilizer preparation can reduce the period of maturation and improve the quality of compost.

Keywords: Thermophilic or thermo-tolerant microbes, lipolytic microbes, biofertilizer preparation, cellulase, maturity, total nitrogen, immobilized nitrogen, C/N ratio.

前　言

臺灣一年產出之豬糞、牛糞和羊糞約有 1,150 萬公噸，雞糞尿、鴨糞尿、鵝糞尿和火雞糞尿約有 700 萬公噸，蔗渣 40 萬公噸，稻殼 30 萬公噸，太空包菇類廢培養基有 5 萬公噸，如再加上畜牧廢水生物處理後所生產之大量生物污泥，這些有機農業廢棄物之總量已超過 2,000 萬公噸 (楊等，2003) 。這些數量龐大之有機廢棄物如果不加以適當處理，將嚴重影響環境衛生，因而如何利用這些有機廢棄物為當務之急。

台灣地區廚餘佔垃圾總量之 17.94-25.73% ，視收集地點和對象而定，這些大量的廚餘垃圾，除了部分地區回收養豬及堆肥製作，例如台北市政府的廚餘回收計畫，大部份以掩埋和焚化處理為主，但是掩埋時易生惡臭，成為病媒滋生的溫床，並且台灣地狹人稠，掩埋場土地取得不易，民眾抗爭不斷，而焚化時其處理費用偏高，且廚餘含水量很高，若將其送入焚化爐中燃燒會降低垃圾總發熱量、縮短焚化爐的使用壽命和浪費能源，此兩種方式皆非處理廚餘的上策 (Yang 和 Tsai，2002) 。

廚餘的成分相較於農業廢棄物有種類較複雜、性質變化大、產量不穩定和產源分散必須採取公共點收集等特性，且因為各國風土民情和飲食習慣不同也造成各地廚餘成分的差異 (洪，2000；Lim 等，2000；Yun 等，2000) 。一般家庭廚餘較複雜，常含剩飯、蔬果殘渣、魚肉殘體及湯汁等；學校或餐廳則較單純，其組成不外乎醣類、脂質、蛋白質、纖維素、半纖維素、木質素等，前三者屬易分解物質，後三者雖可分解，但所需時間較長。餿水乾物質重僅 18.6%，粗蛋白質 2.95% (表一) 。臺灣廚餘含碳 43.12% 和含氮 2.03%，而韓國廚餘含碳 46.1-48.9% 和含氮 2.45-4.32%。如以類別分，韓國廚餘含穀類 16%、蔬果類 65% 和漁肉類 19% (表二) (Lim 等，2000；Yun 等，2000)。學校餐廳廚餘可分為未食用完剩菜及前處理之蔬果廢棄物，水分含量高介於 80.23-93.97%，pH 5.78-6.23 為酸性，灰份含量 9.53-10.34%，總有機碳含量 37.39-57.06，總氮含量 1.54-3.25% (表三) 。成功國宅家庭廚餘水分含量 72.12-86.17%，pH 5.31-5.74 為酸性，灰份含量 8.42-10.32%，總有機碳含量 49.87-56.35，總氮含量 2.15-2.63% (表四) 。

表一、臺灣餿水組成分

Table 1. The composition of the swill in Taiwan

成分	含量 (%)
水分	81.45 ± 9.87
乾物質重	18.55 ± 1.29
粗蛋白質	2.95 ± 0.46
醚抽出物	2.02 ± 0.53
粗纖維	0.21 ± 0.05
灰份	1.09 ± 0.12
無氮抽粗物	12.28 ± 3.03

陳義雄和陳文賢(1997)。

廚餘如能善加利用，它並不是垃圾，而是一種資源。廚餘可與其他有機資材混合製作成堆肥，做為有機肥料，或土壤改良劑，施用於土壤，不但可以改良土壤酸化作用，提高土壤有機物含量，促進土壤團粒，提供作物養分和加速有機農業發展 (Yang，1994、1997、2001) 。由於廚餘水份含量高，不含有毒物質，並且含有豐富的植物養分，可回收作堆肥材料 (洪，2000；Yang 和 Tsai，2002) 。

廚餘堆肥處理的主要方式依規模可分為三類，使用上皆有其優缺點：第一類為小型處理設備 (20-300 公升) ，如家用廚餘桶及商業型家用廚餘機，操作簡單方便，但可能有臭味問題，且有機肥料亦非每一家庭都有需求，所以推廣不易；第二類為中型處理設備 (40-1000 公斤/天) ，如餐廳、學校或大型社區，使用廚餘高速醱酵機或消滅型廚餘處理機為主，此類處理設備調配方式簡單，反應時間大幅縮短，減少環境污染，以達減廢為主要目的，產生的有機肥可能未完全腐熟或品質不佳，間接影響作物成長；第三類為大型的廚餘堆肥場，為集中化的處理，所產生有機肥性質穩定，增加經濟效益，為最有效的處理方式 (Tsai 等，2002) 。

表二、廚餘組成分

Table 2. The composition of the food waste

成分	石牌國小*	韓國廚餘**	韓國廚餘***
C (%)	43.12	46.1-48.9	
N (%)	2.03	2.5-4.3	
P(%)	0.67		
K(%)	0.56		
H (%)		6.4-7.3	
O (%)		38.5-42.2	
Total solid (%)		19.1-21.1	
Volatile solid (%)		94.8-97.6	
Cereals (%)			16 ± 2
Fruits (%)			14 ± 2
Vegetables (%)			51 ± 2
Meats and fish (%)			19 ± 2
Ash(%)	9.00		
Zn (ppm)	64		
Pb (ppm)	7.8		
Cu (ppm)	9.0		
Ni (ppm)	5.8		
pH	6.23		

*洪(2000)；**Lim 等(2000)；***Yun 等(2000)。

表三、學校宿舍餐廳廚餘成分

Table 3. The composition of food waste in the college dormitory restaurant

Code	pH	Moisture content (%)	Ash(%)	TOC(%)	TN(%)	C/N
A	6.23±0.11	92.95 ± 0.21	10.34±0.25	37.39±2.87	3.25±0.11	11.53±0.21
B	5.78±0.05	93.97 ± 0.13	9.75±0.64	43.76±1.72	1.54±0.05	28.42±0.53
C	5.93±0.08	93.41 ± 0.20	10.25±0.24	37.93±2.23	2.46±0.07	13.83±0.36
D	5.89±0.12	80.23 ± 1.34	9.53±0.57	57.06±4.69	2.78±0.54	21.35±0.81

Mean ± S.D. (n=3). A：Vegetables；B：Fruit；C：Mixture；D：Leftovers。

表四、臺北市成功國民住宅廚餘成分

Table 4. The composition of food waste in the Cheng-kong national apartment

Sample	pH	Moisture content (%)	Ash (%)	TOC（%）	TN（%）	C/N
A	5.31±0.14	86.17 ± 1.51	10.32±0.56	49.87±2.48	2.15±0.05	23.26±0.25
B	5.74±0.12	72.12 ± 0.50	8.42±0.28	56.35±1.94	2.63±0.17	21.46±0.88

Mean ± S.D. (n=3). A：Vegetables；B：Mixture。

一般小型處理設備中參與堆肥化過程的菌主要以中溫菌為主，而中型及大型堆肥設備則以高溫菌為主。由學校餐廳所產出廚餘原料中含有大量油份，粗脂肪含量為每克乾重 17.08%，隨堆積過程水分喪失後會呈現濃縮現象，堆積 70 天後粗脂肪含量每克乾重可達 23.65~24.62% (Tsai 等，2006) ，過量的油份會對分解反應產生抑制，且過量的油脂不斷累積，造成堆肥化過程時間遲緩，在國內外有許多相關研究報告 (Lim 等，2000；Yun 等，2000；Tsai 等，2002) 。此和一般的農業廢棄物堆肥最大不同之處，故欲快速製作品質良好的廚餘堆肥，其先決條件是須有專門針對廚餘垃圾分解力強的關鍵性微生物族群，才可達到廚餘廢棄物資源再利用的目的。

微生物主要有細菌、放線菌、真菌、藻類、原生動物和病毒等。每克土壤含有 10^7-10^8 個細菌菌落、10^5-10^6 個真菌菌落、10^5-10^6 個放線菌菌落、10^2-10^4 個藻類菌落和 10^2-10^4 個原生動物等 (Alexander，1997；Atlas 和 Bartha，1998；楊等，1998) 。這些微生物對於地球上物質之分解和元素之循環佔有極重要地位。以碳循環而言，部份光合菌可以固定空氣中 CO_2 而成菌體，同時微生物也可以氧化及分解有機物而釋放出 CO_2 。具有纖維素分解能力之主要微生物有細菌、放線菌和真菌，當土壤中添加纖維質材質時，會促進其在土壤中之族群，每克土壤所含具纖維素分解活性細菌可達 10^7 個菌落，絲狀真菌 10^6 個菌落 (Alexander，1977) 。

高溫菌在生物肥料製作和作物生長過程中皆扮演相當重要角色，在生物肥料製作過程中微生物相隨著基質溫度和 pH 值而有所改變。製作初期由於基質中含有多量之空氣和易分解之碳水化合物、蛋白質、脂質等，致使基質溫度急劇上升，而微生物所產生之有機酸則使基質 pH 值下降。此時堆肥中最初所含之嗜溫菌漸漸為嗜熱菌所取代 (Yang，1997、2001) 。在高溫期微生物因易分解之有機物含量減少、氧氣供應不足、發酵熱產生漸減、基質溫度逐漸下降，此時嗜溫菌又開始建立族群 (Yang，1997；Chen 等，1998、2000) 。堆肥化過程中微生物族群的消長變化，除了受微生物生理、養分競爭力、基質利用能力、抗菌性物質和培養基質種類等影響外 (Chen 和 Yang，1998、2000) ，亦受到通氣率、水分含量和 pH 值等諸多因素的控制 (Yang，1997、2000；Yang 和 Chen，2000；Yang 等，2000) 。

本研究為改進生物肥料製作，提高生物肥料品質，由堆肥、市售生物肥料和土壤中分離之耐高溫菌中，選取生長較快和纖維素分解活性較高之耐高溫放線菌、耐高溫細菌和耐高溫真菌，接種至稻草與豬糞生物肥料中，探討其在生物肥料製作時之品質和對作物生長之影響。以供未來在生

物肥料製作時之參考。為進一步瞭解生物肥料、化學肥料及堆肥之施用，對蔬菜生長及植株之影響，也於臺大實驗農場進行田間試驗，做為學術研究及生物技術工業之參考。

接種微生物對堆肥和生物肥料品質之影響

以往堆肥製作時，皆以其所含之天然微生物族群進行堆肥化，由於其所含微生物族群差異性大，致使堆肥腐熟時延長，品質差異性大 (表五) 。為提高堆肥和生物肥料分解速率，縮短堆肥和生物肥料製作時間，提高堆肥和生物肥料品質和多元化目標。國內外學者進行了一系列之接種實驗：

印尼為提高大豆種植，早在 1936 年在 Toxopeus 田裡接種少量之 *Rhizobium* 固定空氣中之氮氣，提高大豆產量，其後於 1979 年有 ”Legin” 之正式生產上市，使用 6-10 個 *Rhizobium* strains；100 公斤之 Legin 可供 350 公頃大豆種子使用。至 1986 年印尼有 40%之大豆種植區使用 *Rhizobium* 接種，每 300 克價格在美金 4-5 元，可以儲存 2-3 個月 (Anas，1994) 。其後為適合酸性土壤，高交換性鋁之土壤，耐受農藥使用和適合各種大豆品種。Gunarto (1991)分出 *Bradyrhizobium japonicum* 可以在酸性土壤中生長且可產生多量之 exopolysaccharide，有利其在大豆根上長根瘤。

在印尼松樹苗圃中接種 mycorrhizal，如 A*caulospora, Gigaspora, Glomus* 和 *Scuhellospora*，可以在低 pH 下發揮效果。另外在陸稻接種 V-A mycorrhizal 亦可促進其生長 31.6-62.5% (Anas，1994)。印尼由陸稻、玉米和大豆根圈中分出溶磷菌，其中真菌 *Aspergillus niger* 可以產生草酸、檸檬酸和其他有機酸類，而細菌類中之 *Pseudomonas diminuta* 和 *Ps. stutzeri* 可以產生 glicolatic acid，降低土壤 pH 且與 Al^{3+}，Fe^{3+}和 Ca^{2+}形成複合物，增加磷之有效性。*Ps. putida*-10 亦可溶解磷礦石，接種溶磷菌可以促進大豆生長和提高甘蔗乾重。將溶磷菌 *Ps. putida* 與堆肥混合使用，在 28^{o}C 下可以存放 16 週仍保存其活性 (Anas，1994) 。

日本比嘉照夫更是將有益微生物 (effective microorganisms, EM) 接入土壤中，進行蔬菜、稻米、果樹、花卉、茶葉和牧草之栽培以及接入堆肥、污泥進行有機物分解。認為土壤中之微生物相可以大致分為四大類：腐敗型土壤微生物、淨菌型土壤微生物、發酵型土壤微生物和合成型土壤微生物。其中腐敗型土壤微生物仍是將生廏肥等有機物分解，如土壤中此類菌佔優勢則易生惡臭及感染病蟲害，目前農田土壤約有九成屬於此類。至於淨菌型土壤微生物，其中可以產生抗菌物質微生物所佔比例較高，病蟲害發生少。發酵型土壤微生物以乳酸菌、酵母菌等為主，由於有機酸、醣類、

維生素等含量多，作物生長不良。合成型土壤微生物，含有光合成菌，可以利用太陽光，藻類可以固定氮氣，如此類微生物佔優勢時，加入有機肥料，則土壤肥力大增，如能配合發酵型土壤微生物，則作物生長良好，土壤生產力高 (比嘉照夫，1994) 。

表五、由堆肥中分離出之微生物分離株

Table 5. Microbial isolations from composts

微生物	分離株
細菌	*Acinetobacter calcoaceticus, Acromobacter* sp., *Aeromonas hydrophilia, Bacillus* sp., *B. cereus, B. megatherium, B. mycoides, B. stearothermophilus, Bordentella bronchiseptica, Cellumonas folia, Chondrococcus exiguous, Citrobacter* sp., *Clostridium perfringens, Enterobacter* sp., *Escherichia coli, Flavobacterium* sp., *Klebsiella* sp., *Micrococcus* sp., *Mycobacterium* sp., *Mycococcus virescens, M. fulvus, Proteus* sp., *P. morganii, Pseudomonas* sp., *Salmonella* sp., *Sarcina* sp., *Serratia* sp., *Shigella* sp., *Staphylococcus* sp., *Streptococcus* sp., *Thiobacillus thiooxidans, T. denitrificans, Vibrio alginolyticus, Yersinia enterocolitica*
放線菌	*Actinoplanes* sp., *Faenia rectivirgula, Micromonospora parva, M. vulgaris, Micropolyspora faeni, Nocardia brasiliensis, Saccharomonospora* sp., *Streptomyces* sp., *Thermoactinomyces* sp., *T. vulgaris, Thermomonospora* sp., *T. curvata, T. glaucus, T. viridis*
真菌	*Absidia* sp., *Acremonium* sp., *Acrophialophora* sp., *Alternaria* sp., *Aphanocladium* sp., *Arthrinium* sp., *Arthrobotrys* sp., *Aspergillus* sp., *Botrytis* sp., *Cephalosporium* sp., *Ceratocystis* sp., *Chaetomium* sp., *Cladosporium* sp., *Clitopilus* sp., *Coprinus* sp., *Doratomyces purpureus, Epicoccum* sp., *Eurotium* sp., *Fusarium* sp., *Geotrichum candidum, Humicola* sp., *Malbranchea* sp., *Monilia sitophila,Mucor* sp., *Paecilomyces* sp., *Papulaspora* sp., *Penicillium* sp., *Phanerochaete chrysosporium, Plectosphaerella* sp., *Rhizoctonia* sp., *Rhizomucor* sp., *Rhizopus* sp., *R. nigricans, Scopulariopsis* sp., *Scytalidium* sp., *Sporotrichum thermophile, Stysanus stemonitis, Talaromyces* sp., *Thermoascus aurantiacus, Thermomyces* sp., *Torula thermophila, Trichoderma* sp., *Tricothecium* sp., *Yeast, Zygorhynchus* sp.

在植物殘渣、動物遺體、動物排泄物等有機物堆積時，於 EM 存在下，可以將有機物分解轉化生成生理活性物質、溶解性有機物，並可殺死病原

菌、強化植物之耐蟲性和耐病性 (比嘉照夫，1994) 。 EM 經木村友昭等 (1995) 分析結果，其 pH 3.3，EC 4.9 ms，每克乾重含細菌 1.9×10^7 個菌落、耐熱性細菌 1.9×10^4 個菌落、酵母菌 3.9×10^5 個菌落、嫌氣菌 4.9×10^7 個菌落、色素耐性菌 9.0×10^4 個菌落和乳酸菌 1.5×10^7 個菌落。至於放線菌、絲狀菌、大腸菌群和光合成細菌則未測出。EM 原液完全抑制青江白菜種子發芽，100 倍稀釋液，種子可以發芽，但根及莖之生長受阻。EM 濾液中含乳酸 0.48% 、乙醇 0.33% 、丙醇 0.13% 、醋酸 0.29% 和酪酸 0.02% 。當 EM 菌接入農業資材中，所得之微生物資材每克含有細菌 2.5×10^4-2.4×10^{10} 個菌落、放線菌 ND-7.9×10^4 個菌落、絲狀菌 ND-5.3×10^7 個菌落、耐熱性細菌 ND-2.0×10^8 個菌落和耐熱性放線菌 ND-7.1×10^1 個菌落。細菌/真菌比介於 1.9-6.3×10^3，而放線菌/真菌比則介於 7.7×10^{-7}-6.4×10^3。可見由 EM 所製作之資材，由於基質不同，菌數不安定，變異性甚大 (木村友昭等，1995) 。

國內在微生物接種研究上，生物固氮方面接種 *Rhizobium* 已有顯著成效 (Young 和 Chao，1984；楊，1995) ，在豆科作物與根瘤菌共生固氮研究已有相當基礎，在牧草方面只有埃及三葉草使用接種劑，在林木豆科樹種之銀合歡和相思樹的固氮菌有研究。另在水田滿江紅與藍綠藻共生之固氮作用因受使用殺草劑而未被推廣。在田間接種 38 株根瘤菌，可以促進苜蓿、三葉草、花生和大豆產量 210% ， 50% ， 21% 和 98% 。在銀合歡林地中，接種根瘤菌在生長初期可以提高根部有效根瘤數和植體乾物種 (楊，1994) 。

溶磷菌在國內分出 G(+)桿菌 *Bacillus* sp.、溶磷細菌 TAR1-338、溶磷真菌 TAR1-318。溶磷真菌 TAR1-318 溶磷活性大於溶磷細菌 TARI-338，在含米糠之培養基中其活性較強 (簡和吳，1994) 。在茶園土壤中也分出溶磷菌 *Pseudomonuas* sp.及 *Bacillus* sp.，每克根圈乾種土壤含溶磷菌 7.3×10^5 個菌落，而非根圈土壤溶磷菌只有 1.0×10^4 個菌落 (張和楊，1994) 。在第二核能發電廠及其周圍，其固氮菌每克乾種土壤含量介於 1.63-3.65×10^5 個菌落 (楊等，1998) 。

由堆肥、市售生物肥料和土壤中分離之高溫溶磷菌，挑選出在 50°C 和 25°C 培養五天後所的之菌落大小、溶磷圈大小以及 halo size 前 25 名菌株。其中耐高溫溶磷細菌分離株 C45 (從生物肥料分離出) 和 V1 (從禽畜糞堆肥場分離出) ，不但可以溶解鈣磷，且可以溶解鐵磷和鋁磷。分離株 C45 在 50°C、 PVK 平板檢測法上具有最大 halo size (2.45±0.25)，且在 $FePO_4$ 和 $AlPO_4$ 培養基上均能生長和產生 halo size，分別為 1.55±0.35 和

1.83±0.18。在 50°C、PVK、$FePO_4$和 $AlPO_4$液態檢測法分別能溶解出 10235.29±1456.01、790.88±95.99 以及 969.68±55.75 µM 的游離無機態磷，以及 pH 分別降至 3.96±0.10 、 5.99±0.15 以及 5.67±0.15 。分離株 V1 在 50°C 、NBRIP 平板檢測法上具有較大溶磷圈 (11.10±1.48 mm) 和 halo size (2.79±0.17)，且在 $FePO_4$和 $AlPO_4$培養基上均能生長和產生 halo size，分別為 1.06±0.08 和 1.27±0.06。在 50°C 、PVK 、 $FePO_4$和 $AlPO_4$ 液態檢測法分別能溶解出 15632.35±1248.18、1001.18±79.60 以及 3116.18±710.05 µM 的游離無機態磷，而且 pH 分別降至 4.06±0.02、5.78±0.05 以及 5.44±0.05 (張和楊，2005) 。

接種高溫放線菌對生物肥料品質之影響

將供試高溫放線菌孢子懸浮液接種至生物肥料基質 (稻草：豬糞= 4：1) ，混合均勻後 (每克乾重基質約含 6.0-7.0×10^5 個孢子)，以蒸餾水調整水分含量至 60- 63 %。共分 4 組：一、接種高溫放線菌分離株 No. 56，二、接種高溫放線菌分離株 No. 40，三、接種高溫放線菌分離株 No.40 和 No. 56 和四、未接種對照組。四種處理堆肥分別置於高 27cm，上部直徑 24cm，下部直徑 20cm 的圓形塑膠容器中，桶上加蓋，於 45°C 下培養。

一、水分含量：

接種組中 (無論是單獨接種或混合接種) 其水份含量皆隨著培養之過程略為上升。培養 31 天後，接種分離株 56 號其水分含量最高為 70.21±0.49%，其次為混合菌株 69.18±1.06%，分離株 40 號 66.03±1.33% 。未接種之對照組培養前 21 天，基質水分含量最高為 63.51±0.82%，其後水份含量下降，培養 31 天降為 46.61±0.57%。可見生物肥料製作過程中，接種會促進代謝水生成，提高基質水份含量，此種現象在堆肥及生物肥料製作 (陳等，1998；詹等，1999；蔡和楊，2004) 、蛋白質強化 (Yang 和 Cheng，1992；Yang，1993) 、酵素生產 (Yang 和 Chiu，1986；Yang 和 Huang，1994) 、抗生素生產 (Yang 和 Ling，1989；Yang，1996；Yang 和 Swei，1996) 和多元不飽和脂肪酸生產 (Jang 等，2000、2005) 相似。

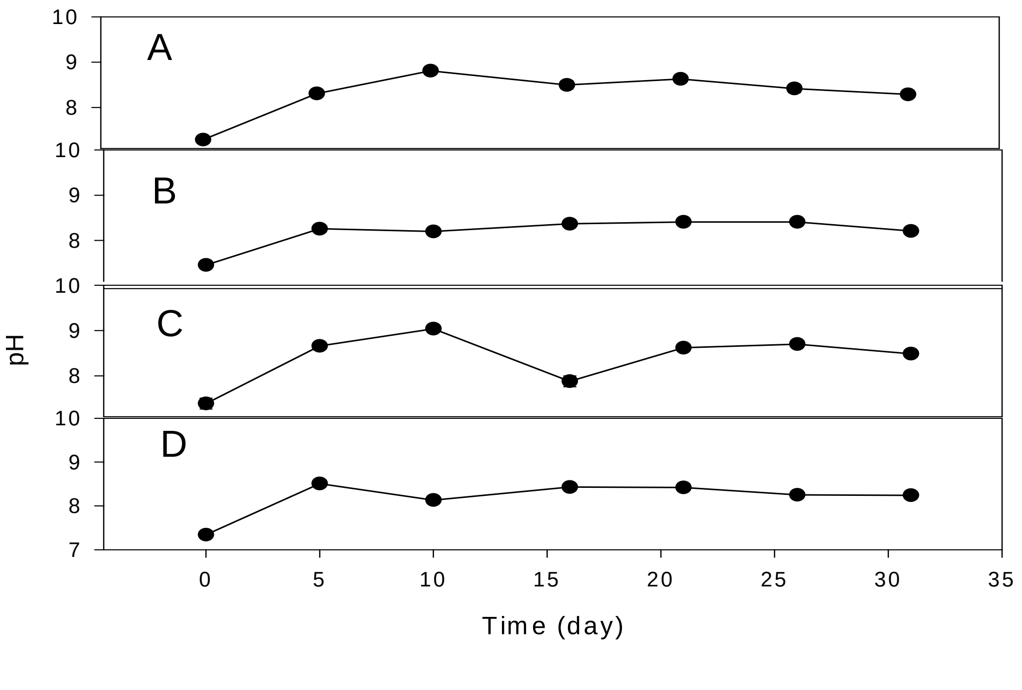
二、 pH 值：

在 31 天的堆積過程中，四組基質 pH 值皆上升 (圖一) 。第十天左右最高，pH 8.5-9.0 之間，其後因微生物快速生長生成有機酸，致使 pH 值略降但仍高於 8.0 。在北部禽畜廢棄物堆肥研究，腐熟堆肥其 pH 值皆呈鹼性 (楊等，1999、2000) 。接種高溫放線菌分離株 56 號在 31 天培養過程中，基質 pH 皆略高於放線菌分離株 40 號，而混合菌株其 pH 值則介於兩

者之間。控制組因未接菌，基質 pH 變化最小。在稻草堆肥中接種高溫放線菌分離株 1 號和 71-1 號亦發現其基質 pH 值比未接種者高(詹等，1999)。

三、灰份含量：

堆肥化過程中，四組灰份含量如圖二所示。灰份含量由最初 12-13% 增加至堆積 31 天後 19-20%。接種分離株 56 號其灰份含量最高 20.43±0.14%，接種分離株 40 號及未接菌者，灰份含量較低只有 19.80-9.84%。由於堆肥化過程中，基質中易分解之有機物被分解產生二氧化碳逸去，因而基質灰份含量會隨著堆積過程而上升 (Yang，2001) 。至於生物肥料灰份含量之高低則視基質種類而異，豬糞生物肥料其灰份含量在 20%左右，但雞糞生物肥料因基質中含 CaO，有時可以高達 40% (楊等，1999、2000) 。在固態發酵生產蛋白質、酵素、抗生素和多元不飽和脂肪酸也有類似之現象 (Yang 和 Chiu，1986；Yang 和 Ling，1989；Yang 和 Cheng，1992；Yang，1993、1996；Yang 和 Huang，1994；Yang 和 Swei，1996；Chen 等，1998；詹等，1999；Jang 等，2000、2005；蔡和楊，2004) 相似。



圖一、接種耐高溫放線菌株對生物肥料 pH 值之影響。

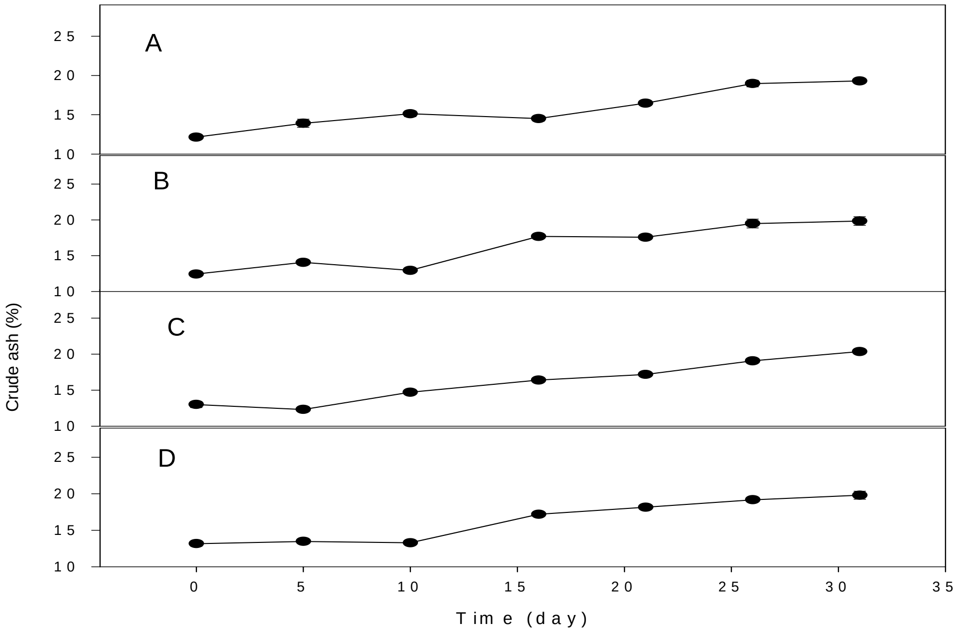
Fig. 1. Effect of thermophilic actinomycete inoculants on the pH of biofertilizer. (A). Mixed cultures of two isolates, (B). Isolate No.40, (C). Isolate No.56, (D). Control (without inoculation).

四、發芽率：

生物肥料在製作初期，因不完全氧化產生有機酸影響種子發芽，對作物根之生長不佳 (Yang，1994、1997) 。在稻草及豬糞生物肥料中接種耐高溫放線菌，在堆積過程中苜蓿種子發芽率上升 (圖三) 。生物肥料原料其苜蓿種子發芽率只有 75%，接種分離株 56 號 16 天後其發芽率上升至 83%，混合菌株為 87% ，而未接種者其值略低。可見接種耐高溫放線菌可以縮短生物肥料製作時間，有利於生物肥料腐熟和提高種子發芽率。

五、總有機碳含量：

在堆積過程中基質總有機碳被微生物分解產生二氧化碳而下降，接種耐高溫放線菌分離株 56 號其總有機碳含量由最初 41%，降低至堆積 31 天 37%，接種混和菌株其總有機碳含量下降次之。在北部禽畜廢棄物生物肥料製作時，無論是豬糞、雞糞和牛糞所製作之生物肥料，總有機碳含量皆比原料基質低，如翻堆處理其下降更為明顯(楊等，1999、2000)，在稻草生物肥料中接種高溫放線菌分離株其總有機碳含量亦由最初之 45%下降至 35-40%之間(詹等，1999)。



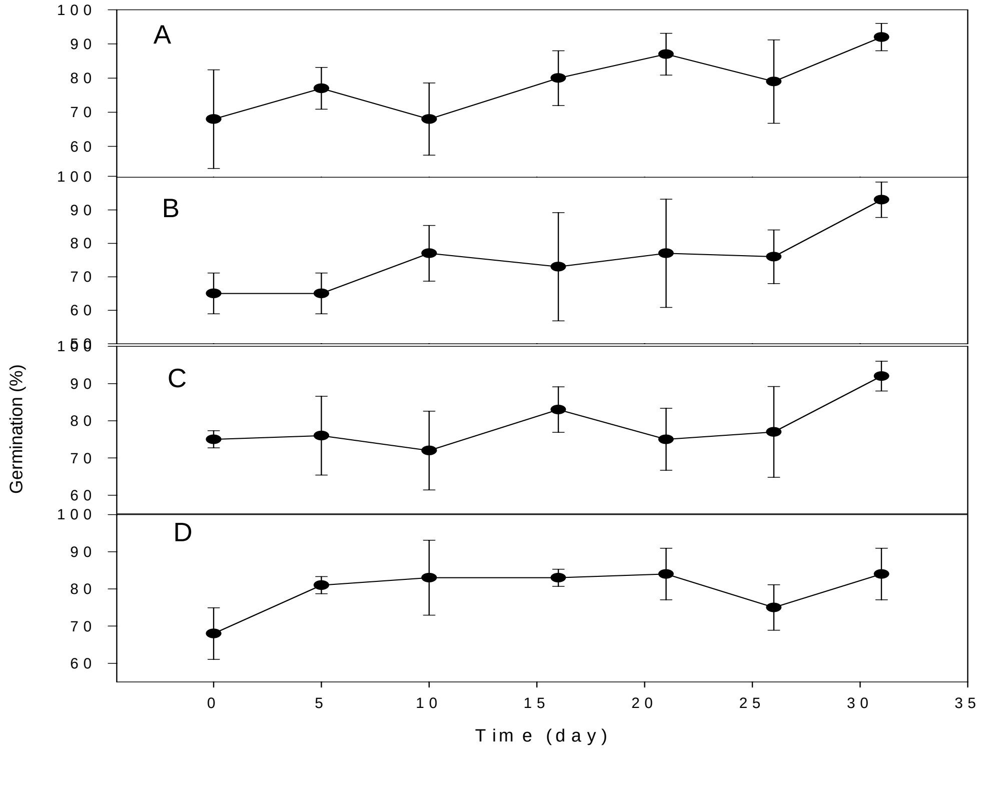
圖二、接種耐高溫放線菌株對生物肥料灰份之影響。

Fig. 2. Effect of thermophilic actinomycete inoculants on ash content of biofertilizer. (A). Mixed cultures of two isolates, (B). Isolate No.40, (C). Isolate No.56, (D). Control (without inoculation).

六、總氮與固定態氮含量：

由於基質中有機物經微生物分解釋出二氧化碳，因而基質總氮含量會隨著堆積過程而上升。由圖四知, 接種分離株 56 號其基質總氮含量由最初 1.0% 增加至堆積 31 天 1.6% ，接種混合菌株其總氮含量則由 0.8% 增加至 1.8% ，不接菌者其增加量較低。可見在稻草及豬糞為原料製作生物肥料時，接種耐高溫放線菌可以提高基質之總氮含量。無論在室內接種試驗及室外堆積研究，堆肥和生物肥料在製作過程中，總有機氮含量皆會隨著堆積過程而上升 (Harada，1990；Yang，1994、2001)。

堆肥和生物肥料製作時微生物會利用基質中之碳、氮等合成其體質而將氮固定。稻草和豬糞基質其最初之固定態氮含量介於 0.7-0.8% 之間，而堆積 31 天其固定態氮增加至 1.6-1.7% 之間。接種分離株 56 號及混合菌株，其增加率較高，而未接種者略低。稻草堆肥以及北部禽畜廢棄物堆肥場，其生物肥料之固定態氮含量亦隨著堆積過程而增加，接種或翻堆皆有助於固定態含量之上升 (楊等，1999、2000) 。

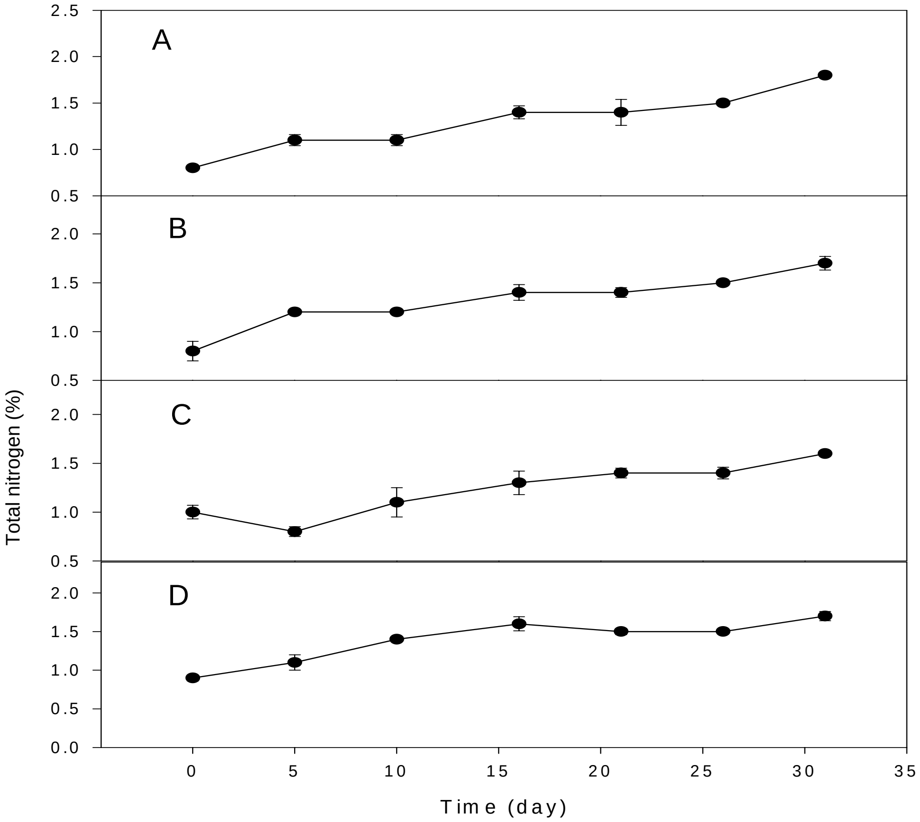


圖三、接種高溫放線菌株對生物肥料萃取液之苜蓿種子發芽率之影響。

Fig. 3. Effect of thermophilic actinomycete inoculants on germination of alfalfa of the biofertilizer extract. (A). Mixed cultures of two isolates, (B). Isolate No.40, (C). Isolate No.56, (D). Control (without inoculation).

七、碳氮比：

由於微生物分解基質之有機物而釋放出二氧化碳以及利用其中之氮形成菌體，增加固定態氮含量，因而生物肥料在堆積過程中 C/N 比下降。接種高溫放線菌分離株 40 號及 56 號，其 C/N 比由最初之 45-51 下降至 22-24，接種混合菌株則由 49 降到 21，未接種者下降較少 (圖五) 。生物肥料基質 C/N 比視原料種類而異，作物殘體 C/N 比較高，牛糞原料 C/N 比亦高達 30 以上，但雞糞較低只有 10 左右。一般生物肥料原料其 C/N 比以 35 左右為宜，而產品 C/N 比則以 20 左右較佳 (Yang，1997、2001) 。北部禽畜堆肥場管理較佳者其所生產之堆肥 C/N 比介於 15~25 (楊等，1999、2000) 。接種高溫菌分離株可以降低其 C/N 比，加速生物肥料穩定化和提高生物肥料品質。

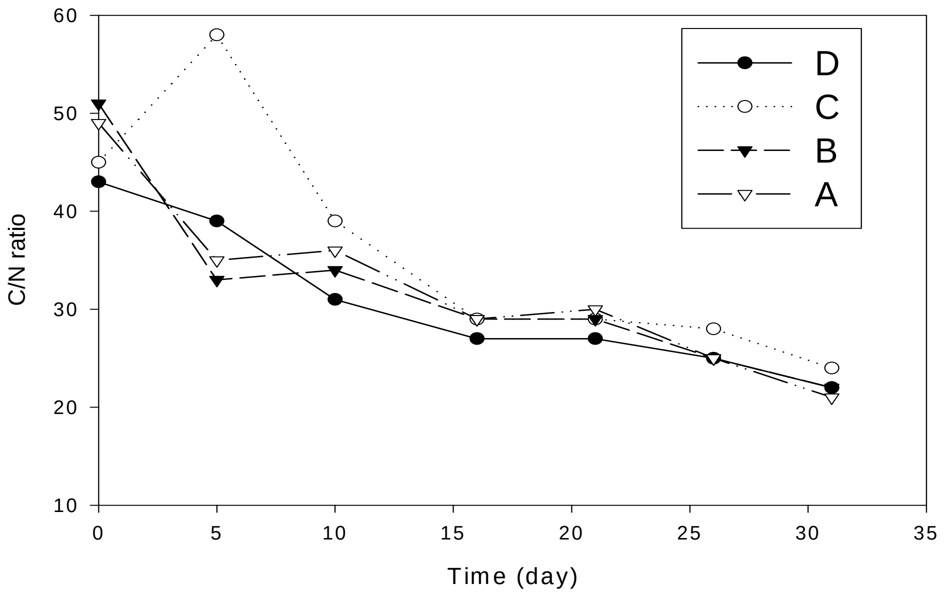


圖四、接種高溫放線菌株對生物肥料總氮含量之影響。

Fig. 4. Effect of thermophilic actinomycete inoculants on the total nitrogen content of biofertilizer. (A). Mixed cultures of two isolates, (B). Isolate No.40, (C). Isolate No.56, (D) Control (without inoculation).

八、高溫放線菌族群：

生物肥料在製作過程中，由於有機物分解使得基質溫度上升，良好生物肥料其堆積過程中溫度在 50°C 以上至少維持 7-10 天，如此可以將病原菌、蟲卵和雜草種子殺死 (Parr 等，1994) 。為提高生物肥料中微生物族群，加速堆肥穩定化，生物肥料中微生物含量為其關鍵。在稻草豬糞生物肥料中，如未接種則生物肥料中所含之高溫放線菌族群甚低，每克基質只含 10^3 個菌落以下，大部分為黴菌 (圖六) 。而接種放線菌分離株 56 號時，培養至 16 天每克基質含 $10^{7.8}$ 個菌落，接種分離株 40 號在第 16 天可達 $10^{8.2}$ 個菌落。可見所接種之高溫放線菌可以在基質中建立族群，縮短生物肥料製作時間及提高堆肥品質。在稻草堆肥中接入高溫放線菌，亦發現可以建立其族群 (陳，1998) 。

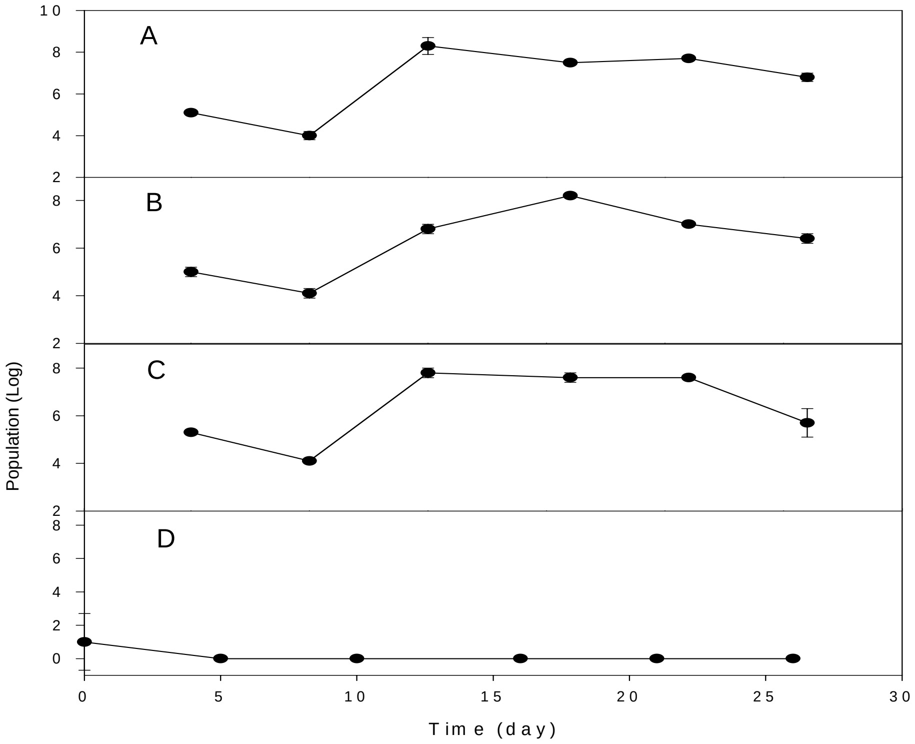


圖五、接種高溫放線菌株對生物肥料 C/N 比之影響。
Fig. 5. Effect of thermophilic actinomycete inoculants on C/N ratio of biofertilizer. (A). Mixed culture of two isolates, (B). Isolate No.40, (C). Isolate No.56, (D). Control (without inoculation).

九、臭味及顏色：

接種混合菌株在第 16 天即無生物肥料臭味，接種放線菌分離株號 56 號、 40 號及對照組皆在第 21 天無生物肥料臭味，可見接種混合菌株的除臭效果優於其它各組。接種放線菌分離株 56 號、 40 號、混合菌株之生物肥料，分別在 10、16 和 16 天轉變成黑褐色，而不接菌的控制組則至

第 31 天尚未變成黑褐色。由於生物肥料腐熟後，腐植質含量增加，其顏色呈現深褐色或黑褐色，所以生物肥料大都由基質原色轉變成深褐色，進而轉變成黑褐色 (Gray 等，1971) 。所以由顏色變化知接種放線菌分離株 56 號的堆肥較優，較早腐熟。可見生物肥料堆積過程中，接種高溫放線菌有利於生物肥料製作，縮短生物肥料製作時間，提高生物肥料品質。由於不同分離株，其生長速率和酵素種類及活性皆不同，因而在堆肥或生物肥料製作時，可依其目的使用不同的供試菌株。



圖六、接種耐高溫放線菌株對生物肥料中耐高溫菌數之影響。

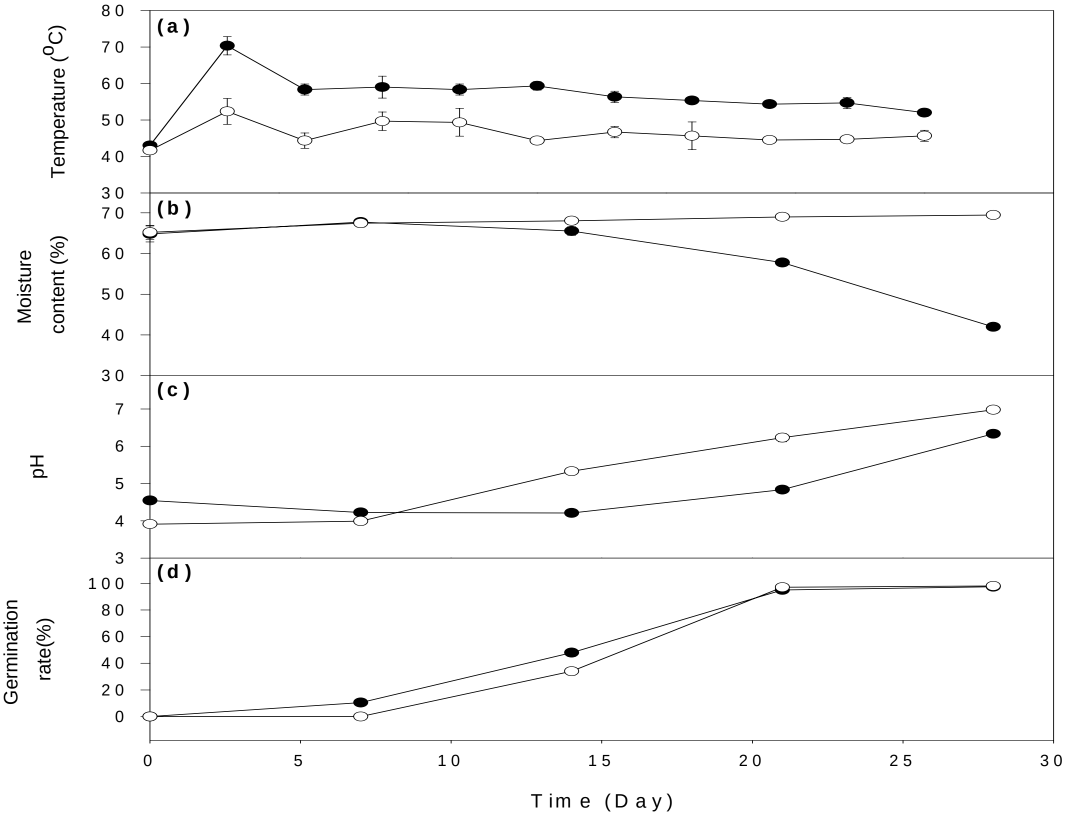
Fig. 6. Effect of thermo-tolerant microbe inoculation on the populations of thermo-tolerant microbes. (A). Mixed cultures of two isolates, (B). Isolate No.40, (C). Isolate No.56, (D). Control (without inoculation).

為加速有機廢棄物之分解速率和提高堆肥品質，而由堆肥中分離高溫放線菌分離株 No.55，No.62a 和 No.62b，當它們分別或混合接入稻草和豬糞堆肥時，在堆積 21 天時，基質 pH 先降後升，接種高溫放線菌時可以提高全有機碳減少速率，降低 C/N 比，提高青江菜種子之發芽率。尤其在堆積初期接種高溫放線菌對堆肥之穩定化有促進作用，而堆積後期則其效果較不明顯 (Chen 等，1998) 。

廚餘堆肥製作

一般小型處理設備中參與堆肥化過程的菌主要以中溫菌為主，而大型處理廚餘機及堆肥廠則以耐高溫菌及中溫菌為主。廚餘大都含有大量油份，過量的油份會對分解反應產生抑制，造成堆肥化過程時間遲緩，且過量的油脂會不斷累積，此和一般農業廢棄物堆肥最大不同，故欲快速製作品質良好的廚餘堆肥，其先決條件是須有專門針對廚餘垃圾分解力強的微生物，進而才可達到廚餘廢棄物資源再利用的目的。本實驗利用原本著重於減廢之消滅型廚餘處理機，製作出已腐熟且品質良好之廚餘堆肥，並運用自行篩選之高溫脂解菌種，進一步探討菌種對於堆肥品質的影響。

由圖七所示廚餘機 A (接種高溫脂解菌) 及 B (對照組) 在開始堆積時廚餘機中堆肥基質溫度分別為 42.00℃及 41.67℃，和廚餘機本身控溫裝置所設定的溫度 40℃差異不大，但經過 3 天廚餘機 A 及 B 之溫度皆因為微生物開始繁殖分解產生大量的熱而迅速升高，分別為 70.33℃ 及 56.67℃，廚餘機 A 較 B 高出 13.66℃，直到堆積 30 天後廚餘機 A 及 B 堆肥溫度分別為 52℃ 及 45.67℃，其溫度皆隨堆肥化過程而下降。水分含量變化方面廚餘機 A 及 B 初始水分含量分別為 64.81% 及 65.23% ，由於廚餘機為半密閉，僅有一水蒸氣出口，堆肥在廚餘機內堆積時僅表面水蒸氣因高溫而較易散失，而初期時廚餘機內部堆肥則因為外部堆肥水分含量高，造成孔隙度不佳故水分散失不易，可保持大量水分，且微生物發酵時產生代謝水，使廚餘機 A 及 B 水分含量在第 7 天皆呈現上升情形，堆積 21 天後廚餘機 A 水分含量明顯下降僅有 57.77%，而廚餘機則為 69.01% ，堆積 30 天後廚餘機 A 及 B 水分含量分別為 41.96% 及 69.47% ，廚餘機 A 從堆積初期至堆積 30 天後水分含量總計下降 22.85% ，而廚餘機 B 則反而增加 6.24% ，此和廚餘機 B 中發酵時溫度較低有關。廚餘機 A 及 B 之起始 pH 分別為 4.55 及 3.91，以廚餘機 A 為高，和接入之 SH168 菌液有關，之後廚餘機 A 之 pH 於堆積後 7 天下降至 4.22，堆積 14 天時 pH 僅 4.21，直到堆積 21 天時 pH 值才上升為 4.84，28 天時劇烈上升為 6.83，堆肥堆積過程 pH 先降後升趨勢為微生物代謝產生有機酸造成，此情形亦在許多堆肥堆積過程中可見 (陳，1998；楊等，2000) ，廚餘機 B 之 pH 則呈現逐漸上升趨勢， 28 天時 pH 達 6.98。



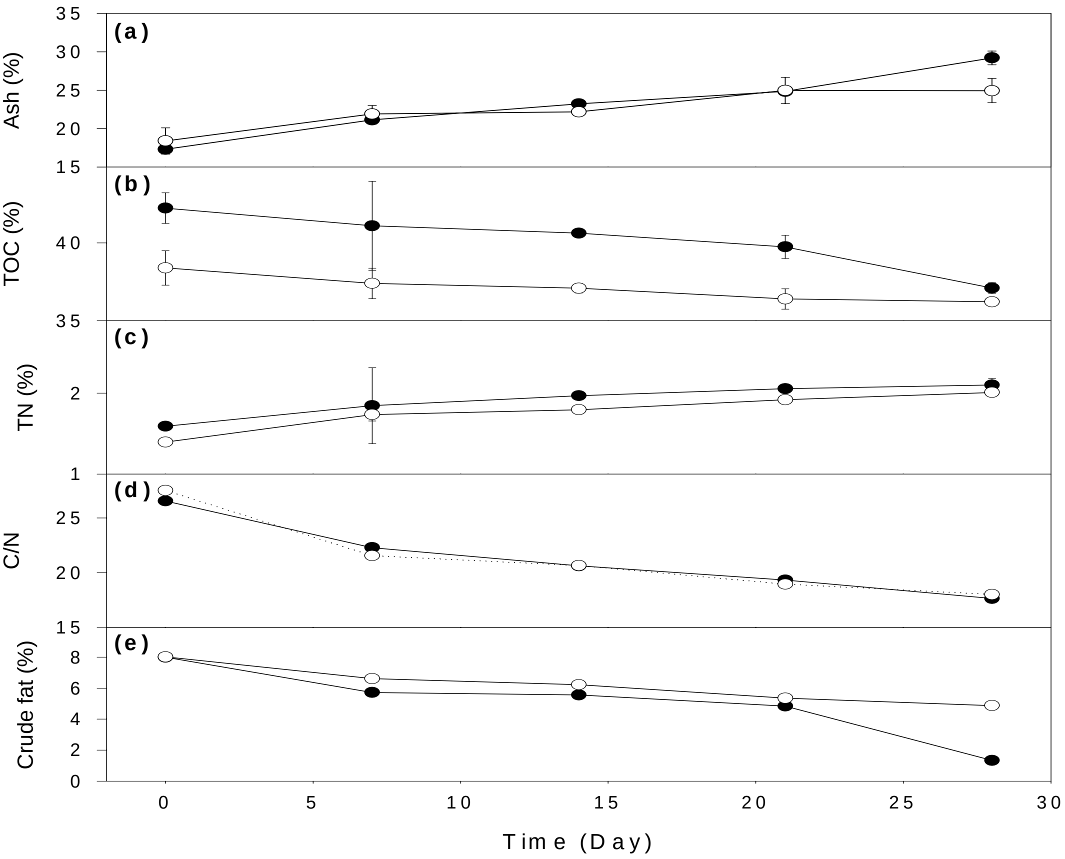
圖七、接種高溫脂解菌對廚餘堆肥化性質變化之影響。

Fig. 7. The properties of food waste compost during composting period (a) Temperature, (b) Moisture content, (c) pH and (d) Germination rate in the mechanical composter (●) A and (○) B. Values were the mean of triplicate experiments and error bars represented standard deviation.

堆肥製作時初期因微生物消耗有機碳時不完全產生有機酸，或是代謝氮產生過多氨，而影響種子發芽率，對作物根之生長有不良影響 (Yang，1997、2001) 。廚餘機 A 及 B 初始苜宿種子發芽率皆為 0% ，直至堆積達 21 天時廚餘機 A 及 B 苜宿種子發芽率分別為 95% 及 87% ，顯示堆肥中對於抑制種子發芽之物質已被微生物代謝成穩定無害狀態，堆肥逐漸進入腐熟狀態。廚餘機 A 其種子發芽率皆比同時期廚餘機 B 高，故廚餘機 A 較快進入堆肥腐熟階段，此時堆肥顏色也變深黑，無刺鼻臭味。由於微生物分解有機物，使有機物轉成二氧化碳而散逸，固體基質中有機物減少而使灰份含量相對增加，廚餘機 A 及 B 中堆肥灰份含量分別由初始 17.29% 及 19.28% ，隨堆積過程逐漸上升 (圖八) 。堆積 28 天，廚餘機 A 及 B 灰份含量分別為 29.21% 及 24.94%，廚餘機 A 灰份增加 11.29% 較高。廚餘機 A 及 B 有機碳含量因受微生物分解產生二氧化碳而逐漸下降，由初始 42.25% 及 38.39%，堆積 28 天時則分別為 37.09% 及 36.21%，廚餘機 A

總有機碳含量減少 5.16%，分解率較高。廚餘機 A 及 B 總氮含量由初始 1.59% 及 1.40%，堆積 28 天時則分別為 2.10% 及 2.01%，微生物於基質中耗能分解含氮化合物製造菌體成分提供成長，在堆積過程中氮素雖然也會損失，但其損失百分率遠較有機質少，造成百分率反而增加。堆肥化過程中，有機物被微生物分解，全碳含量呈現下降趨勢，氮素濃度因濃縮效應而呈現增加，C/N 隨堆積過程呈現下降趨勢，廚餘機 A 及 B 堆肥 C/N 比由初始 26.55 及 27.51，堆積 28 天時則分別下降至 17.65 及 18.02。廚餘做為堆肥材料時，其中含有大量烹調過後殘存之食用油脂，此和一般禽畜糞及農業廢棄物堆肥原料最大不同，廚餘機 A 及 B 中堆肥粗脂肪由初始 7.99% 及 8.02%，堆積 28 天時則分別下降至 1.34% 及 4.88%，廚餘機 A 粗脂肪下降 6.65%較高，分解率達 83.23%，廚餘機 B 粗脂肪下降 3.14%，分解率為 39.15%。由於有機碳含量及粗脂肪含量變化皆以廚餘機 A 分解率較高，更可證明接種 *Bv. borstelensis* SH168 可縮短廚餘堆肥化腐熟所需時間。

廚餘機 A 每克乾重堆肥高溫與中溫菌總數初始分別為 1.36×10^{8} 及 1.40×10^{7}，廚餘機 B 分別為 8.18×10^{8} 及 7.05×10^{8}，廚餘機中菌相以高溫菌為多數，廚餘機 A 中總菌數變化不論高溫或中溫皆呈現先升後降，堆積 28 天時廚餘機 A 中每克乾重堆肥高溫與中溫總菌數分別為 1.50×10^{8} 及 1.9×10^{7}，廚餘機 B 堆積 14 天時每克乾重堆肥高溫與中溫總菌數分別為 7.4×10^{7} 及 1.02×10^{9}，以中溫菌菌數為主，此乃廚餘機 A 中接種 *Bv. borstelensis* SH168，在營養瓊脂培養基中所培養出菌落型態較為單純，可見 *Bv. borstelensis* SH168 菌落，顯示 *Bv. borstelensis* SH168 在此操作條件下能持續在廚餘機中進行分解有機物質。



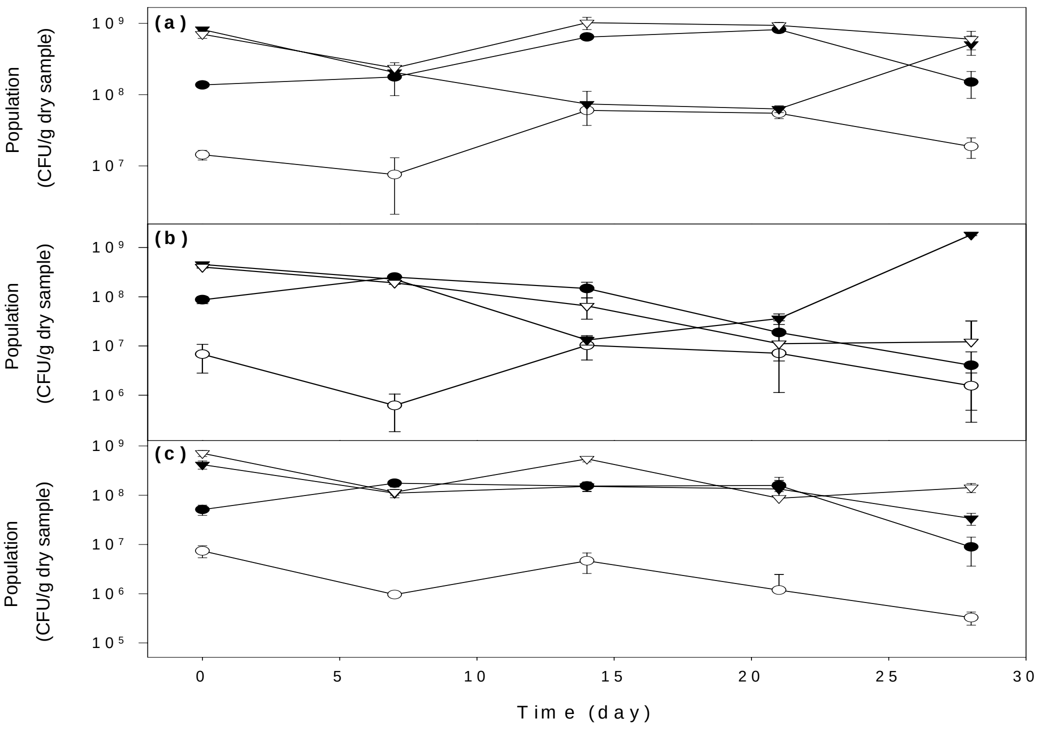
圖八、接種高溫脂解菌對廚餘堆肥化性質變化之影響。

Fig. 8. The properties of food waste compost during composting period (a) Ash, (b) Total organic carbon, (c) Total nitrogen, (d) C/N ratio, (e) Crude fat in the mechanical composter (●) A and (○) B. Values were the mean of triplicate experiments and error bars represented standard deviation.

纖維素分解菌方面，進料時期廚餘機 A 中每克乾重堆肥高溫與中溫纖維素分解菌分別為 8.70×10^7 及 7.00×10^6，廚餘機 B 則分別為 4.54×10^8 及 4.03×10^8，堆積 28 天時廚餘機 A 中每克乾重堆肥高溫與中溫纖維素分解菌分別為 4.00×10^6 及 2.00×10^6，廚餘機 B 則分別為 1.82×10^9 及 1.20×10^7，廚餘機 A 中之高溫纖維素分解菌呈現下降趨勢 (圖九)。

在脂解菌方面，初始廚餘機 A 中每克乾重堆肥高溫與中溫脂解菌分別為 0.51×10^8 及 0.07×10^8，廚餘機 B 則分別為 4.18×10^8 及 7.13×10^8，第 7 天廚餘機 A 中之菌數呈現上升，堆積 28 天時廚餘機 A 中每克乾重堆肥高溫與中溫脂解菌數分別為 0.04×10^8 及 0.02×10^8，廚餘機 B 則分別為 18.15×10^8 及 0.12×10^8，其中廚餘機 A 中脂解菌減少可能和粗脂肪含量下降有關。堆積 21 天時廚餘機 A 及 B 苜宿種子發芽率分別為 95% 及 87%，顯示堆肥中對於抑制種子發芽之物質已被微生物代謝成穩定無害狀態，堆肥逐漸進

入腐熟狀態。堆積 28 天時除水分含量外，廚餘機 A 及 B 之 pH、總有機碳、總氮、及 C/N 比等皆符合垃圾堆肥品質標準，其中接種高溫細菌分離株 *Bv. Borstelensis* SH168 之廚餘機 A，堆肥化過程溫度明顯較高且有機碳含量及粗脂肪含量分解率較未接菌廚餘機 B 高，顯示接種高溫細菌分離株於廚餘機可縮短堆肥腐熟時期及提高堆肥品質(表六)。



圖九、接種高溫脂解菌對微生物菌數變化。

Fig. 9. The population of (a) total count, (b) cellulolytic microbes and (c) lipolytic microbes in the food waste compost during composting in the mechanical composter. A (●) 50℃, (○) 30℃ and B (▼) 50℃, (▽) 30℃. Values were the mean of triplicate experiments and error bars represented standard deviation

表六、接種高溫酯解菌廚餘生物肥料製作過程性質分析

Table 6. Properties of food wast biofertilizer with the inoculation of thermophilic lipolytic microbes

Period (day)	Temp (°C)	pH	Moisture content (%)	Ash (%)	TOC (%)	TN (%)	Crude fat (%)	C/ N	Germination rate (%)
(A) Inoculation with *Brevibacillus borstelensis*									
0	43±3	4.55±0.01	64.81±1.96	17.29±0.29	42.25±0.99	1.59±0.03	7.99±0.07	26.55±0.77	0
7	70±5	4.22±0.01	67.72±0.23	21.14±0.56	41.10±2.86	1.84±0.47	5.72±0.17	22.28±1.25	10.50±1.41
14	61±4	4.21±0.06	65.53±1.06	23.22±0.16	40.63±0.25	1.97±0.02	5.56±0.10	20.63±0.29	48.00±2.83
21	55±3	4.84±0.02	57.77±0.86	24.84±0.23	39.75±0.75	2.06±0.06	4.84±0.21	19.33±0.83	95.00±1.41
28	52±3	6.83±0.06	41.96±0.64	29.21±0.89	37.09±0.35	2.10±0.08	1.34±0.09	17.65±0.61	97.50±0.71
(B) without inoculation									
0	41±3	3.91±0.04	65.23±1.74	18.39±1.71	38.39±1.11	1.40±0.01	8.02±0.13	27.51±1.02	0
7	56±3	3.99±0.01	67.49±1.00	21.90±1.09	37.39±0.98	1.74±0.08	6.61±0.10	21.55±0.97	0
14	50±3	5.33±0.02	68.03±0.86	22.17±0.45	37.08±0.31	1.80±0.02	6.22±0.09	20.65±0.53	34.00±2.83
21	47±2	6.23±0.11	69.01±0.81	24.96±1.71	36.39±0.66	1.92±0.03	5.35±0.10	18.95±0.37	87.00±1.41
28	45±2	6.98±0.01	69.47±0.35	24.94±1.56	36.21±0.22	2.01±0.04	4.88±0.06	18.02±0.21	98.00±2.83

Means±S.D. (n=3)

不同肥料處理對油菜生長之影響

針對台北市自主性廚餘堆肥和山豬窟廚餘堆肥場進行採樣，分析其組成分及重金屬含量。台北市市民農場之組裝式堆肥箱廚餘堆肥，其資材有果皮、樹葉、餿水及稻殼和某生技公司之廚餘機廚餘堆肥，其資材有樹葉及廚餘。堆肥基本性質如表七所示。

表七、供試堆肥之化學性質

Table 7. Some selected chemical properties of tested composts

Item	Detachable composter	Mechanical composter
Moisture content (%)	29.83 ± 0.92	15.23 ± 0.53
pH	8.26 ± 0.04	4.06 ± 0.01
EC (mS/cm)	6.46 ± 0.01	9.37 ± 0.04
Organic matter (g/kg)	698.54 ± 6.21	769.43 ± 1.16
Total N (g/kg)	18.91 ± 0.11	39.06 ± 0.12
NO_3^--N (mg/kg)	572.92 ± 73.66	350.37 ± 34.84
NH_4^+-N (mg/kg)	2114.27 ± 20.54	3441.53 ± 8.13
Total P (g/kg)	6.35 ± 0.05	3.16 ± 0.40
Total Al (g/kg)	0.74 ± 0.00	0.32 ± 0.02
Total Ca (g/kg)	52.91 ± 0.42	13.41 ± 0.10
Total Fe (g/kg)	0.49 ± 0.05	0.24 ± 0.03
Total K (g/kg)	26.92 ± 0.23	15.01 ± 0.33
Total Mg (g/kg)	1.47 ± 0.02	1.02 ± 0.01
Total Cu (mg/kg)	13.73 ± 0.42	5.13 ± 0.23
Total Mn (mg/kg)	106.00 ± 0.72	46.07 ± 0.42
Total Zn (mg/kg)	41.53 ± 5.67	5.07 ± 3.12

Mean ± S.D. (n=3).

以廚餘處理機及組裝式堆肥箱所製作廚餘堆肥進行油菜盆栽試驗，探討其對於油菜生育及產量之影響，並以施尿素、過磷酸鈣及氯化鉀混合肥料，其氮-磷酐-氧化鉀含量為 16：8：12 為對照組。由盆栽試驗結果，利用組裝式堆肥箱所製作之廚餘堆肥對油菜生育及產量之效果頗為一致，隨著廚餘堆肥之增施而有增產效果。油菜株高、葉數、鮮重、產量均以 FWC-4R 施用 100 g/pot 最佳，株高較對照區增高 10.1cm 、葉數增加 2.1 葉、鮮重增加 50.3 g/pot、產量較對照組增產 248.3%。利用消滅型廚餘堆肥機所製作之廚餘堆肥對油菜生育及產量則有減產效果。油菜株高、葉數、地上部乾重、產量均以 FWMC-4R 施用 40 g/pot 最差，株高較對照組減少 10.3 cm、葉數減少 3.8 葉、鮮重減少 14.3 g/pot、而產量較對照組減產 68.7% (表八和圖十) 。

由廚餘成分分析發現，素類廚餘其水分含量較高，總氮含量較低，因而 C/N 較高。廚餘回收處理作成堆肥，其目的如在製作性狀良好之堆肥，

則其原料之調配需加以考量，以滿足堆肥品質需求。台北市自主性廚餘堆肥，營養源方面有機物含量和總氮含量，大致上可符合雜項堆肥或垃圾堆肥品質標準，但部分自主性廚餘堆肥其水分含量太高，pH 太低，必須配合調整副資材和改善其設備，降低原料水分含量至 65%左右，添加調整材提高其通氣性，可以降低厭氣發酵減少產生有機酸，提高產品 pH 值，降低施用後對作物生長之負面影響。部分自主性廚餘堆肥，可能因添加資材，至使部分產品其重金屬含量偏高。如樣品 F6 其鉻、銅、鎳和鋅含量皆超過垃圾堆肥之標準。另外樣品 A3、D5、D6、F5、F6、F7、H2 和 J7 其銅含量也超過 100 mg/kg 之標準。而 J 處可能只有廚餘原料，添加木屑或樹葉等調整材，因而其所得堆肥之重金屬含量幾乎皆未超過農業委員會所公佈之垃圾堆肥之重金屬含量，但水分含量太高則有待改善。

表八、不同處理對油菜株高、葉片數、鮮重及乾重之影響
Table 8. Effect of treatment on the plant height, number of leaf, fresh weight and dry weight of rape

Treatment	Plant height (cm)	No. of leaf	Yield (g/pot)	Yield Index (%)
CK	$16.4 \pm 0.7^{*e}$	7.2 ± 0.7^{c}	20.25 ± 0.33^{e}	100.0
CH-R	23.7 ± 0.9^{b}	8.9 ± 0.3^{ab}	63.91 ± 0.97^{b}	315.6
FWC-R	17.9 ± 0.4^{d}	6.5 ± 0.2^{d}	33.32 ± 0.51^{d}	164.5
FWC-2R	20.8 ± 0.4^{c}	8.6 ± 0.2^{b}	63.36 ± 0.34^{c}	312.9
FWC-4R	26.5 ± 1.0^{a}	9.3 ± 0.2^{a}	70.54 ± 0.67^{a}	348.3
FWMC-R	13.4 ± 0.3^{f}	4.2 ± 0.6^{e}	12.34 ± 0.49^{f}	60.9
FWMC-2R	12.1 ± 0.3^{g}	4.5 ± 0.2^{e}	6.34 ± 0.20^{g}	31.3
FWMC-4R	6.1 ± 0.3^{h}	3.4 ± 0.2^{f}	5.96 ± 0.06^{g}	29.4

Mean ± S.D. (n=3). * :Averages followed by the same smaller letter in the same column, are not significantly different ($p < 0.05$) as determined by Duncan's multiple range test.

盆栽試驗結果顯示，廚餘堆肥品質對於作物生育及產量有顯著影響，組裝式廚餘堆肥隨其增施對於作物有增產效果，反之廚餘機廚餘堆肥則對作物造成危害，其造成危害之因素包括土壤之低 pH、酸性土壤造成營養元素磷、鉀、鈣及鎂等無法正常吸收和增加土壤中鋁、錳、銅、鐵、銅及鋅等溶解度影響作物生長及氨態氮中毒使植株之生長受到抑制。

由上述資料顯示，農業有機廢棄物或廚餘，在堆肥化過程中，接種適

當高溫纖維素分解菌或高溫酯解菌，可加速有機物質分解與提高生物肥料品質。高溫菌在環境保護和農業生產，具有應用上潛力。

(a)未施肥　　(b)化肥　　(c)廚餘堆肥　(d)2 倍廚餘堆肥(e)4 倍廚餘堆肥

圖十、不同施肥處理對油菜生長之影響。

參考文獻

洪明龍。2000。家庭廚餘與下水污泥共同堆肥之資源化研究。碩士論文。國立台灣大學環境工程研究所，台北，台灣。

陳國樹。1998。高溫菌在生物肥料製作上應用與其抗菌活性之探討。博士論文。國立台灣大學農業化學系，台北，台灣。pp. 298。

張政雄、楊盛行。2005。高溫溶磷菌生物肥料之開發利用研究。93 年度農業委員會期末報告，國立臺灣大學生化科技學系，台北，台灣。

張鳳屏、楊秋忠。1994。茶園土壤中溶磷細菌生態調查及其應用。微生物肥料之開發與利用研討會專刊，台灣省農業試驗所，台中，台灣。p. 115-129。

楊秋忠。1994。固氮菌的應用及發展。微生物肥料之開發與利用研討會專刊，台灣省農業試驗所，台中，台灣。p. 5-14。

楊秋忠。1995。本土化生物肥料之開發及應用。永續農業研究及推廣研討會專輯，林俊義和洪梅珠主編，中華永續農業協會，台中，台灣。p. 37-46。

楊盛行、林正芳、王繼國。2003。廢棄物處理與再利用。國立空中大學，台北，台灣。p. 339-395。

楊盛行、孫瓏月、楊鈞凱、魏嘉碧、黃仁勇、許文富。1998。第二核能發電廠及其周圍微生物族群探討。環境保護，21: 144-158。

楊盛行、張淑貞、魏嘉碧。2000。農家禽畜廢棄物堆肥化之性質。中華生質能源學會會誌，19: 49-61。

楊盛行、鍾仁賜、魏嘉碧。1999。台灣北部禽畜養殖場廢棄物堆肥之性質。中華生質能源學會會誌，18: 52-65。

詹峰順、黃景軍、陳國樹、楊盛行。1999。高溫放線菌之纖維素酵素活性及對稻草品質之影響。中華農學會報，新 185: 58-71。

蔡書憲、楊盛行。2004。高溫有益微生物複合功能生物肥料之研究。93 年度國家科學委員會期末報告，國立臺灣大學生化科技學系，台北，台灣。

簡宣裕、吳繼光。1994。溶磷真菌的溶磷機制。微生物肥料之開發與利用研討會專刊，台灣省農業試驗所，台中，台灣。p. 99-113。

比嘉照夫。1994。人.くらし.生命が變ねゐ.EM 環境革命.綜合ユニユム印刷株式會社，東京，pp.510。

木村友昭、桑村友章、善本知孝。1995。微生物資材的使用方法。永續農業研究及推廣研討會專輯，林俊義和洪梅珠主編，中華永續農業協會，台中，台灣。p. 34-36。

Alexander, M. 1977. Introduction to Soil Microbiology. 2nd ed., John Wiley & Sons, New York.

Anas, I. 1994. Biofertilizers and their application in Indonesia. In: International Seminar on the Use of Microbio and Organic Fertilizers in Agricultural Production. Rural Development Administration of Korea and Food and Fertilizer Technology Center, Suwon, Korea. p. 85-104.

Atlas, R. M. and Bartha, R. 1998. Microbial Ecology: Fundamentals and Applications. 4th ed., Benjamin/Cummings Science Publishing, California.

Chen, K. S., Lin, Y. S. and Yang, S. S. 1998. Isolation and application of thermo-tolerant micrbes in composting. Journal of the Agricultural Association of China, New Series 183: 97-112.

Chen, K. S. and Yang, S. S. 2000. Cross streaking test of the microbial population development in composting. Taiwanese Journal of Agricultural Chemistry and Food Science 38: 321-331.

Gray, K. R., Sherman, K. and Biddlestone, A. J. 1971. A review of composting. Part 1. Process Biochemistry 6: 32-36.

Gunarto, L. 1991. Acidity tolerance of high exopolysaccharide producing mutant of *Bradyrhizobium japonicum*. Penelitian Pertanian, Ⅱ, 2: 72-76.

Harada, Y. 1990. Composting and application of animal wastes. ASPAC/FFTC

Extension Bulletin 311: 19-31.

Jang, H. D., Lin, Y. Y. and Yang, S. S. 2000. Polyunsaturated fatty acid production with *Mortierella alpina*. Botantical Bulletin of Academia Sinica 41: 33-40.

Jang, H. D., Lin, Y. Y. and Yang, S. S. 2005. Effect of culture media and conditions on polyunsaturated fatty acids production by *Mortierella alpine*. Bioresource Technology 96: 1633-1644.

Lim, S. J., Choi, D. W., Lee, W. G., Kwon, S. And Chang, H. N. 2000. Volatile fatty acids production from food wastes and its application to biological nutrient removal. Bioprocess Engineering 22: 543-545.

Parr, J. F., Hornick, S. B. and Kanfman, D. D. 1994. Use of microbial inoculants and organic fertilizers in agricultural production. In: International Seminar on the Use of Microbio and Organic Fertilizers in Agricultural Production. Rural Development Administration of Republic of Korea and Food and Fertilizer Techonology Center. Suwon, Korea. p. 1-40.

Tsai, H. H., Wei, C. B. and Yang, S. S. 2002. Quality of food waste compost produced by local autonomy group in Taipei City. Journal of the Biomass Energy Society of China 21: 103-117.

Tsai, S. H., Liu, C. P. and Yang, S. S. 2006. Microbial conversion of food wastes for biofertilizer production with thermophilic lipolytic microbes. Renewable Energy International Journal (in press).

Yang, S. S. 1993. Protein enrichment of sweet potato residue with co-culture of amylolytic fungi by solid state fermentation. Biotechnology Advances 11: 495-505.

Yang, S. S. 1994. Compost and agricultural production in Taiwan. Soil and Fertilizers in Taiwan, 1994: 29-62.

Yang, S. S. 1996. Antibiotics production of cellulosic waste with solid state fermentation by *Streptomyces*. World Renewable Energy Congress IV, Denver, Colorado, USA. p. 976-989.

Yang, S. S. 1997. Preparation of compost and evaluation its maturity. FFTC Extension Bulletin 445: 1-23.

Yang, S. S. 2001. Recent advances in composting. In: Issues in the Management of Agricultural Resources, FFTC Book 2001. Food and

Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region (FFTC). Taipei, Taiwan. pp. 195-216.

Yang, S. S., Chang, S. C. and Wei, C. B. 2000. Properties of livestock and poultry wastes during composting in farms. Journal of the Biomass Energy Society of China 19: 49-61.

Yang, S. S. and Chen, M. C. 2000. Effect of thermophilic actinomycetes on the maturity of compost. Journal of the Biomass Energy Society of China 19: 115-127.

Yang, S. S. and Cheng, Z. J. 1992. Protein enrichment of corncob with *Trichoderma* by solid state cultivation. Chinese Journal of Microbiology and Immunology 24: 177-195.

Yang, S. S. and Chiu, W. F. 1986. Protease production with sweet potato residue by solid state fermentation. Chinese Journal of Microbiology and Immunology 19: 276-288.

Yang, S. S. and Huang, C. I. 1994. Protease production by amylolytic fungi in solid state fermentation. Chinese Journal of Agricultural Chemical Society 32: 589-601.

Yang, S. S., Lai, C. M., Sun, L. Y., Luo, Y. C., Fan, H. Y., Yang, C. K. and Wei, C. B. 1998. Microbial ecology of Tatachia Monutain soil. Journal of the Chinese Agricultural Chemical Society 36: 229-238.

Yang, S. S. and Ling, M. Y. 1989. Tetracycline production with sweet potato residue by solid state fermentation. Biotechnology and Bioengineering 33: 1021-1028.

Yang, S. S. and Swei, W. J. 1996. Oxytetracycline production by *Streptomyces rimosus* in solid fermentation of corncob. World Journal of Microbiology and Biotechnology 12: 43-46.

Yang, S. S. and Tsai, H. H. 2002. Treatment and re-utilization of food wastes. Newsletter of Legislative Yuan 30(3): 38-53.

Young, C. C. and Chao, C. C. 1984. Presistence of leucaena *Rhizobium* Nif 94A in Taiwan liming soil. Leucaena Research Reports 5: 68-69.

Yun, Y. S., Park, J. I., Suk, M. S. and Park, J. M. 2000. Treatment of food wastes using slurry-phase decomposition. Bioresurces Technology 73: 21-27.

農業廢棄物之利用與環保：植物相剋作用在永續農業之利用

周昌弘

中國醫藥大學生物多樣性研究中心

摘　要

近半世紀來，農藥被大量使用後造成農地污染、土壤變質、地下水資源被污染、土壤微生物不平衡、農藥殘留於作物中對牲畜及人類造成毒害，影響國民健康至鉅，有鑑於此，農學及環保學者大力疾呼土壤保育及環境保護之重要。為改進農業的耕作方式以恢復地力，永續性生態式的農業勢必取代傳統農業。緣此，利用植物相剋作用（allelopathy）的理論以發展生物農藥（bio-agrochemical）成為不可或缺的當務之急。在植物的天然物中，含植物相生相剋物質，亦含抗病原菌及昆蟲之化合物。已有越來越多的次階代謝產物由植物中被分離且應用為天然除菌劑及除蟲劑。相對於高毒性及高污染之人工合成農藥藥劑，天然抗菌及抗蟲劑易於分解可減少環境的污染。

西方哲人說：「浪費廢棄物是一種浪費」（To waste the waste is waste）又說 “Go to waste, to be wasted, rather than used or consumed.” 這個意思是廢棄物是一種資源，可以再生利用。台灣是以農立國的國家，農林作物殘體量相當大。大部分的農民都將此殘體棄於農地讓其自行分解至為可惜，若以火燒成為煙灰易導致空氣中二氧化碳之增加造成溫室氣體，不利環保。相反地，若能進一步研究各農林作物殘體的特性，藉其相生相剋作用之潛能以做為生物農藥以取代或降低使用化學合成之除草劑、除蟲劑、除菌劑，則農林作物殘體將不再被視為廢棄物而是一項資源。農林作物之殘體如林木葉、枝條、花、果莢等都含有天然物，有的天然物具相剋作用可做為天然除草劑、除菌劑、或除蟲劑，此天然物做成生物農藥因其分解速度快，且易與土壤有機質結合成為有機礦物複合體（Organo-mineral Complex），對土壤的結構及植物生長有益。此天然物經分解後不會造成殘留餘毒，對土壤的保育具正面效果。近年來生物相生相剋物質（allelochemicals）已廣被學者倡導而努力嘗試運用於農林作物之自然農法上。緣此，利用 Allelopathy 之原理把農林作物殘體做為生物農藥是最合乎生態原則且達到利用廢棄物做成生物資源之最佳方法，亦吻合永續農業的

理想。目前本人已提出「農林作物殘體做為生物農藥之研究與開發」的國家型研究計畫，也期望此計畫之結果能為將來我國永續農業帶來一片曙光。

前 言

近五十年來，由於工商業的發達，農村勞力往都市移動，造成農村人力的不足，農地的生產經營方式也逐漸脫離傳統自然的方式，而採機械式的經營大量地使用合成化學肥料、農藥，而鮮有補充有機的材料，導致土壤物理化學性質的改變，土壤肥力降低，農藥殘留物的累積，隨之造成土壤微生物相的不和諧，病蟲害衍生，為達到生產目的，更多的農藥投入，此惡性循環造成農地萬劫不復，良田變成劣地，整個農業生態系遭受極大的衝擊。農業及生態的有識之士遂提出永續農業（sustainable agriculture）或自然農法（natural farming）的重要性。永續農業在經營上的理念是有機的（organic），取代式的（alternate），再生的（regenerative），生物動態的（biodynamies），能量低輸入的（low input）及資源保育的（resource-conserving），此理念的經營得以維持農地的地力及農業生產力，使農業得以永續（Francis and Sahs, 1986; Chou, 1999）。因此，避免使用農藥及化學肥料成為永續農業最重要的工作。進一步地，利用植物相生相剋作用的原理（Muller, 1966; 1974），以植物天然物來做為除草劑、除菌劑、除蟲劑以取代合成的農藥，成為後現代農業經營的一個重要方向（Welte and Szabolcs, 1987）。因為天然物在自然生態系裡，化合物的分解速率較快，不易造成毒物質之累積，雖天然物對某些土壤生物是有害的，但卻對另一些生物是有利的，在相生相剋的互補作用下，使土壤得以維持生態的和諧及穩定（Whittaker and Feeny, 1971; Chou, 1999）。為達到永續農業的目標，過去，以有機農業的理念做作物育種、土壤肥力及耕作系統、作物保護、作物系統等研究，都被相當的重視。Putnam 及 Duke（1974）從 *Cucumis sativus* 及 *Avena sativa* 中得到具有植物相剋潛能的品系，這些品系於田間生長時可控制雜草之生長。Lovett 及 Hoult（1995）也從大麥中找到具植物相剋的品系，以對付鄰近競爭性的雜草。Chou（1999）也指出植物相剋作用在多作物系統中扮演有益的角色。故以天然植物相剋物質做為生物防治在永續農業扮演一個相當重要的角色（Welte and Szabolcs, 1987; Gliessman, 1983; Rice, 1995; Macias et al., 1993; Macias et al., 1999）。

森林植物殘體之利用

許多森林植物之落葉、枯枝、花、果莢或其他殘體經淋溶或分解後會釋放出代謝物質如酚類化合物、類黃素、松烯類、及植物鹼於環境中，這些物質造成許多農作物生產力的降低。舉凡連作的障礙，係因長期耕作同一物種，經年累月的釋出相同的化學物質累積於土壤中，造成土壤的貧瘠（soil sickness），在世界各地此現象相當普遍，作物如水稻（Chou and Lin, 1976）、蘆筍（Young, 1986）、甘蔗 （Wang et al., 1967）、小麥、綠豆（Chou et al., 1995）、向日葵（Rice, 1995）等。森林植物如孟宗竹（Chou and Yang, 1982）、銀合歡（Chou and Kuo, 1986）、相思樹（Lee and Chou, 2000）、血桐（Tseng et al., 2003）及鳳凰木（Chou and Leu,1992）等也產生相當多樣的植物毒物質。吾人若能利用上述植物所產生的代謝有毒物質來做為天然除草劑、除蟲劑、除菌劑，或植物抵禦外來病菌的物質，或成為生物防治的天然農藥。因為這些植物代謝物質係天然物，其分解速率快，不易造成殘留餘毒，不像合成的農藥，其分解速率慢而造成殘留餘毒，因此合成的農藥如 2,4D 或 2,4,5T，或現今的許多農藥殘留於土壤中後，造成土壤理化性質之改變，也造成土壤微生物相的不平衡，導致土壤的貧瘠，地力降低。緣此，植物代謝物做為天然除草劑、除蟲劑或除菌劑等成為有機農業最佳的方式，此有機農業的做法符合永續農業的理念，吾人若善加利用此自然法則，則植物天然物在永續農業中將扮演一個相當有意義的角色。如下，作者敘述過去評析不同森林植物之植物相剋潛能。若能利用森林殘體做為生物農藥以抑制雜草或病蟲害之生長，則可避免或減輕使用化學合成的農藥所產生的環境問題。

森林植物之植物相剋作用

一、竹類植物之相剋作用潛能

周等（Chou and Hou, 1981）評估臺灣 14 種竹類植物而發現蔴竹（*Dendrocalamus latiflorus*；又名 *Sinocalamus latiflorus*）表現出最高的植物毒性，孟宗竹（*Phyllostachys edulis*）、綠竹（*Bambusa oldhamii*）及八芝蘭竹（*B. pachiensis*）亦表現顯著的植物毒性，在上述的竹類植物中，筆者及其助手也萃取許多類黃素並鑑得數個酚類的毒物質為 ο-hydroxyphenylacetic acid, *cis*-ρ-cinnamic, *trans*-ρ- hydroxycinnamic, vanillic, ρ-hydroxybenzoic, ferulic 及 syringic acid，其中 *trans*-ρ- hydroxycinnamic acid 及 ρ-hydroxybenzoic acid 之含量最高。

尤有進之，周等（Chou and Yang, 1982）發現在同一地區孟宗竹與柳

杉林對地被植物具不同相剋作用，孟宗竹林下之光度（晴天正午時約為2,000～3,000 lux），相對的柳杉林下之光度約 100 lux 以下，雖然前植物密者林下之光度較後者高出 10 倍，然孟宗竹林下之地被植物密度及生物量極低，而柳杉林地被植物之密度及生物量極高，此結果顯示孟宗竹下地被植物稀少並不是光度不足，而柳杉林下之地被植物生長得卻相當繁茂。進一步地，從溪頭實驗地選 10 種植物栽培於南港溫室中，並分別接受孟宗竹林及柳杉林之水溶淋洗液。結果顯示，孟宗竹之淋溶液對移植之植物生長有顯著的抑制作用，但柳杉林之淋溶液對這些植物生長的抑制情形則較差。此結果顯示孟宗竹之水溶淋洗液中含高量之植物相剋物質。同時，孟宗竹之淋洗液對萵苣及稞麥草之幼根生長有顯著抑制作用。相反的，柳杉林之水溶淋洗液卻有促進生長之作用。周曾發現竹林抑制地被植物生長之現象，普遍存在於臺灣、日本、新加坡、夏威夷等地。

二、銀合歡之植物相剋作用

此外，在大面積栽培的銀合歡林中，亦發現銀合歡對地被植物生長抑制之現象，此等廣泛存在於台灣及夏威夷的銀合歡林中。郭及周等對夏威夷型及薩爾瓦多型的銀合歡進行多次田間調查，溫室盆栽及實驗室之分析，而發現林內草本植物不易入侵之現象，並非由環境中之物理因子所促成。經多項生物檢定結果顯示，銀合歡之風乾葉、枯枝葉層、種子及林地土壤，均具水溶性之植物毒物質並抑制萵苣、稞麥及水稻種子之發芽及幼根之生長，且對相思樹、銀木麻黃、楓香及臺灣赤楊之幼苗生長亦有顯著之抑制作用。銀合歡成熟葉中含約 5% 之含羞草素（mimosine），此胺基酸極具毒性，可抑制萵苣、水稻及上述林木胚根之生長，以高壓液相色層分析結果，銀合歡葉中含 9 種有毒酚酸及一種類黃素，銀合歡對許多林株有剋制作用（Chou and Kuo, 1986）。但此作用亦與環境因素息息相關，而受制於環境因子甚大。

三、相思樹之植物相剋作用

相思樹（*Acacia confusa* Merr）的葉及根經甲醇萃取後，續經一系列 Sephadex LH-20 膠濾管柱層析、矽膠速分管柱層析及高效液相管柱層析的分離、純化，計純化出二十二個化合物，經紫外可見光譜 (UV-Vis) 、紅外光譜 (IR) 、一維核磁共振譜 (^{1}H-及 ^{13}C-NMR) 、二維核磁共振譜 (COSY、HMQC 及 HMBC)及速原子撞擊質譜 (FABMS) 等圖譜的解析，始確認出其中十八個化合物為黃酮類 (flavonoid)；二個為單寧類化合物 (tannin) ；餘兩個化合物為生物鹼 (alkaloids) 。其中 myricetin

3-O-(2”-O-galloyl)-α-rhamnopyranoside 7-methyl ether、myricetin 3-O-(3”-O-galloyl)-α-rhamnopyranoside 7-methyl ether、myricetin 3-O-(2”,3”-di-O-galloyl)-α-rhamnopyranoside 及 myricetin 3-O-β-galactopyranoside 7-methyl ether 為過去文獻中所未曾發表的新化合物（Lee and Chou, 2000; Lee et al., 2000）。此外，在生物活性上，flavonol galloylglycoside 類化合物對於豐年蝦卵 (*Artemia salina*) 的孵化具強的抑制作用，其半抑制濃度 IC_{50} 為 50~89μg。另每 cm^2 的濾紙含 40μg 的生物鹼 *N*-methyl tryptamine 或 *N,N*-dimethyl tryptamine 對於萵苣種子根的生長具顯著的抑制作用。

四、血桐植物之相剋作用

血桐（*Macaranga tanarius* L.）是大戟科（Euphorbiaceae）植物，每年能產下相當多的種子，藉鳥類幫助其傳播，一年四季都有落葉現象，在血桐樹下常有相當量的落葉堆積。血桐為陽性樹種，生長快速，常以先驅物種的角色出現在荒廢地、草地上，而且具有相當的潛力，能擴張其族群的大小，同時血桐林下的植物數量逐漸減少，在屏東潮州與臺北圓山的血桐純林下姑婆芋（*Alocasia macrorrihza*）成為林下植物優勢種。Tseng et al.（2003）從野外的調查發現，血桐落葉中可能含有相剋作用物質，當落葉分解過程中，相剋物質釋出，造成鄰近的植物生長受抑制。因此，進一步將血桐落葉與土壤混合，在溫室中進行栽種鬼針草（*Biden pilosa*）、銀合歡（*Leucaena leucocephala*）、萵苣及姑婆芋，結果顯示鬼針草、銀合歡和萵苣的生長都明顯受到抑制，姑婆芋則否。另以實驗在溫室中進行密度與植物毒性的關係分析，發現萵苣在植株密度低的盆栽內，生長受抑制的情況比在植株密度高的盆栽中所受的抑制還嚴重，顯示萵苣在植株密度低的盆栽中，單株吸取到的毒性物質較在植株密度高的盆栽中還高，因此生長所受到的抑制愈明顯。在實驗室中，以落葉的水溶液萃取液對萵苣，鬼針草的種子作萌芽實驗，發現 1.0% 血桐落葉水溶液萃取液明顯對種子的胚根生長有顯著的抑制作用。從落葉水溶液萃取液中以乙醚萃取，所得到的乙醚層作濾紙色層分析，並以 2% 冰醋酸展佈，發現濾紙色層分析圖中，在 R_f 0.42-0.49 和 R_f 0.76-0.84 的斑點帶，對萵苣種子有明顯的抑制作用，進一步利用 silica gel、LH20、HPLC、TLC、HPTLC 等方法分離純化乙醚、butanol 層的化合物，單離以後的化合物，再以紅外線光譜、氫核磁共振光譜、碳核磁共振光譜、二維核磁共振光譜與質譜推測化合物的結構，共得到 nymphaeol-A、nymphaeol-B、nymphaeol-C、quercein、abscisic acid (ABA)、blumenol A、blumenol B、reseoside II、tanariflavanone A、

tanariflavanone B 和 D-mannitol 天然化合物，其中 tanariflavanone A、tanariflavanone B 為新發現的天然化合物，而血桐落葉的 abscisic acid（離層酸）含量約有 3000-5000 ng g^{-1}，此一含量顯著比過去文獻之報導的多。以這些純物質對萵苣種子與長在血桐林附近三種雜草種子，包括鬼針草（*Biden pilosa*）、孟仁草（*Chloris barbata*）、芒草（*Miscanthus floridulus*）作種子萌芽實驗，結果以離層酸對種子的發芽最具抑制效果。離層酸在 20 μg ml^{-1} 下即完全讓萵苣種子無法發芽，而在 120 μg ml^{-1} 時對芒草與孟仁草的胚芽鞘的生長有 75% 的抑制效果，對此兩種植物的胚根生長有 55% 的抑制，在 40 μg ml^{-1} 時對鬼針草的胚根則有 50% 的抑制效果。此外 blumenol A、blumenol B 和 reseoside II 三種化合物在 600 μg ml^{-1} 時也引起芒草胚根的生長受到 20-25% 的抑制，而 tanariflavanone A 與 tanariflavanone B 在 200 μg ml^{-1} 時也對萵苣的胚根生長有 10-30% 的抑制效果。從以上的實驗證明，血桐林下的落葉在分解過程中可能會釋出相剋作用物質，如 ABA、blumenol A、blumenol B、reseoside II、tanariflavanone A 與 tanariflavanone B 對周圍的雜草植物的生長有抑制作用，進而除去這些雜草對共用資源的競爭，讓血桐林得以快速侵入草地或荒廢地，擴張其族群的生活空間，形成當地群落的優勢種植物（Tseng et al., 2001; Tseng et al., 2003）。

克育草與森林植物之相生相剋作用

克育草（*Pennisetum clandestinum*）原屬熱帶牧草，在臺灣高海拔地區生長良好，是高冷地相當好的牧草。譬如，在南投縣清境農場的青青草原即是。克育草屬匍匐性牧草，生長快速，覆蓋度緊密，產草量亦高，對畜牧及坡地水土保持極為有利。由於克育草具有上述優點，作者等遂設計一研究計畫以克育草做為林間放牧之材料，其目的在試驗當杉木林砍伐後在不除草，不干擾地被植物下種植克育草，讓該草在短期間內覆蓋林地，此覆蓋期間不但可以抑制雜草生長，且滋長之克育草可以放牧，以收林牧綜合經營之目的。

一、克育草與杉木間之植物相剋潛能之比較

為評估克育草，杉木鮮葉及殘枝枯葉之相生相剋作用，以捲心萵苣、稻子及爬拉草為材料進行生物檢定，發現此三種植物萃取液具有植物毒害（phytotoxic effect）之作用。在捲心萵苣之生物檢定中顯示，不管是克育草或是杉木殘枝枯葉之萃取液，在各種濃度下對捲心萵苣種子之發芽均無顯著抑制之現象，但杉木鮮葉萃取液對其發芽卻有顯著之抑制作用，且當

萃取液濃度低至 0.5% 時仍具有抑制種子發芽之作用。在實驗室測定田間杉木葉片之淋洗液，其濃度常高於 2.5% ，這可能是殘枝枯葉之覆蓋量大，通常都超過 5 公分厚之關係。

杉木鮮葉及殘枝枯葉之水溶萃取液，經紙色層分析（paper chromatography）及高效能液態色層分析儀 HPLC 分析結果，計有 8 種化合物質即：gallic, protocatechic, ρ-hydroxybenzoic, vanillic, ρ-coumaric, *m* -coumaric, syringic 及 ferulic acid 等，此外在克育草之水溶萃取液中尚發現 *o* -coumaric acid。這些酚酸類之含量，以杉木鮮葉者最高，克育草次之，杉木之殘枝枯葉中最少，且各樣品萃取液中之酸性層所含酚類之相剋物質最高，中性層次之，而鹼性層中最少（Chou et al., 1987）。本研究之萃取液中植物毒物質（phytotoxin）量與植物毒性程度（phytotoxicity）呈正相關。除上述化合物外，克育草之萃取液中尚有約 30 種未被確定之化合物，相信一部分是屬於類黃素。這類化合物是否具有毒害作用尚未被鑑定出來，有待今後繼續研究。

本試驗生物測定結果顯示捲心萵苣下胚軸之生長受到杉木之鮮葉，枯葉及克育草萃取液之抑制。其抑制濃度在 2.5% 或以上，杉木之鮮葉中之植物毒性（phytotoxicity）最高。今後應致力於其分解過程之變化研究，以了解杉木枯葉要達到無毒害作用所需之時間，此種研究對於農民及林業者以枯葉作為覆蓋，防止雜草滋生之利用上將有所助益。此種觀念已在清境農場實現，克育草之覆蓋對其他雜草或果園草有抑制之作用。今後，對於克育草之研究應再繼續鑑定其他未鑑定之相剋物質。此外，林地內堆積之枯葉所釋出之毒物質對其他植物之相剋作用影響亦值得進一步探討。此結果在生長季節多雨之地區將有特殊之意義。

二、克育草與闊葉樹之交互作用

克育草與針葉林杉木林再生間之交互作用研究已在前文詳述，然而，克育草在臺灣中低海拔林地種植時，必與闊葉樹間產生交互作用。臺灣中低海拔（1500 公尺以下）之主要闊葉樹種是樟木（*Cinnamomum camphora*），櫸木（*Zelkova formosana* Hay），赤楊（*Alnus formosana*）及楓樹（*Liquidamber formosana*）。為求研究上之方便，作者等選擇在上述杉木林實驗區之鄰近林區為研究地。然而，其田間之處理因三種闊葉樹之增加而有不同。相同的，在南投縣和社大坪頂杉木林砍伐後之林地內取一實驗地，坡度約 15°，於此地分別取 $10\times10m^2$ 為一小區，依完全逢機區集排列做八個處理，四個重複。此八個處理分別是，A：完全放任（不種任何植物）（對照組）；B：僅種克育草（克區）；C：克育草與赤楊混植（克赤

區）；D：克育草與櫸木混植（克櫸區）；E：克育草與樟木混植（克樟區）；F：僅種赤楊（赤區）；G：僅種櫸木（櫸區），及 H：僅種樟樹（樟區）（Chou et al., 1989）。

三次的田間調查結果顯示，對照區及單獨闊葉樹區內之雜草覆蓋度，顯著地高於種克育草區者，以及克育草與闊葉樹之混植區者。此表示克育草顯著抑制雜草之生長。但是，闊葉樹幼苗生長期間，闊葉樹對克育草與雜草生長並無顯著影響。在生長初期，克育草覆蓋程度雖不及雜草，但一年半後（即第三次之調查）則顯示，除了 B、C 區外，克育草之覆蓋程度漸大於雜草者。其中克赤區（C 處理）之克育草與雜草之覆蓋度已無顯著差異。假以時日，克區（B 處理）之克育草覆蓋度必大於雜草者。相反的，不種克育草之地區，其雜草之覆蓋度顯著大於由外侵入之克育草覆蓋度。

若比較上述八種處理間之雜草種類數則可以看出，除赤楊外，不種克育草之處理區，其雜草種類數均大於克育草與闊葉樹混植區，其中尤以第二次調查結果最為明顯。

當上述三種闊葉樹（樟、櫸及赤楊）與克育草混植，以及闊葉樹單獨時，其生長之比較可以顯現克育草與闊葉樹間有不等之相互影響。以樹冠直徑比較之，三次的調查結果均顯示克育草與樟樹混植時，樟樹之樹冠直徑不及樟樹單獨植者。赤楊及克育草混植與赤楊單獨時，在第一、二次的調查結果顯示，混植時赤楊生長較差，但第三次之調查卻顯示赤楊及克育草混植時，赤楊之樹冠生長已較單獨者為高。相反的對櫸木而言，櫸木與克育草混植時，櫸木之生長較櫸木單獨種植時為佳。此顯示克育草與闊葉樹間有不同之交互作用。若以樹高言，則結果與樹冠者無異（Chou et al., 1989）。

三、闊葉樹及克育草之水溶液淋洗液及萃取液對五節芒幼苗之生長影響

取上述三種闊葉樹、楓樹及克育草之水溶萃取液和其淋洗液（1、3、5％ 濃度）及蒸餾水（對照組）分別對五節芒（*Miscanthus floridulus*）之幼苗生長之試驗，結果發現 1％ 之萃取液或淋洗液，顯示少數抑制作用，在 3％ 之萃取液已有相當的抑制程度，在 5％ 濃度時已有顯著的抑制程度，其中以赤楊及楓樹之抑制程度最高。抑制根系發育與鮮重的程度成正相關關係。此結果充分顯示，在實際的田間上述樹種之萃取液及淋洗液均有顯著抑制難除的五節芒生長之可能。此對雜草之相剋作用具有相當的意義。

四、闊葉樹之水溶萃取液中含植物相剋物質之比較研究

三種闊葉樹即赤楊、樟樹及香楓之水溶萃取液中，以 HPLC 及 PC 將所含植物相剋物質加以鑑定及定量。吾人鑑得在赤楊中有：α-resorcylic、γ-resorcylic、ρ-hydroxybenjoic、vanillic、ρ-coumaric 及 cinnamic acid。在樟樹中含 β-resorcylic、γ-resorcylic、o-hydroxyphenylacetic、protocatechuic、vanillic 及 o-coumaric acid。而在楓樹中則含 γ-resorcylic acid、protocatechuic acid、ferulic acid 及 cinnamic acid。其中以 protocatechuic acid 含量最高達 875 ug/g。三樹種中以櫸木所含之水溶性相剋物質最高達 2133 ug/g sample，赤楊次之 618 ug/g，樟樹則僅含 562 ug/g。作者相信，上述三種闊葉樹中含未被鑑定的相剋物質仍不乏其數，將來天然物化學家可進一步再深入探究。

結　論

在自然的生態體系中，植物的消長與群落的變化是隨著環境因子而改變，人為的干擾雖不可能避免，但都儘可能免除。可是在許多農地及森林地，大面積的栽培（plantation）經營卻免不了人為的干擾。近三十年來，人類為達到某種目的，也常常使用非自然的手段來經營森林與農業。譬如施用化學肥，施農藥及人類砍伐或除草來滿足人對作物生產力之要求。有時過度的人為力量，使森林面臨災難、表土破壞、水資源被污染，遂造成森林再生之困難與環境公害之問題。有鑑於此，現代農業也漸恢復使用合乎生態原則的方法來經營農業。為避免使用農藥及人力之浪費，以植物相剋作用的觀念來經營農業及森林必是一良方。本文研究指出，在杉林砍伐後種植克育草，一則可節省人為除草工資，二則因克育草之快速生長及具有植物相剋的潛能，而可抑制當地雜草的滋生，但克育草對杉林的再生卻沒有顯著的抑制影響，顯示克育草之引入砍伐後的針葉林區，在針葉林（杉林）尚未成林前是可用以控制雜草生長。另一個例子是克育草對闊葉樹林木生長的關係亦指出，克育草對三種中低海拔的樹種之生長無抑制作用，但對當地雜草卻有抑制的功能。研究指出克育草及上述三種闊葉樹對雜草生長均有抑制作用，但克育草對闊葉樹的生長則無害處。此顯示在森林保育上克育草是一相當好的林間草原植物。尤有進者，在克育草建立草原後，不但可提供牲畜之食料以增加畜產生產力，亦可防止因森林砍伐後所造成之土壤及水資源的流失，在森林保育及水土保持上均扮演良性的功能。因此，植物相剋作用之觀念，可以充分地被用於森林之經營上。吾人若能從此自然的道理中去經營農業，則自然保育必見曙光。

誌謝：本文係作者三十多年來（1972～2003）在中央研究院植物研究所及中山大學之重要研究工作。其中有許多學生、助理、博士後研究人員以及合作的單位，如行政院農業委員會畜產試驗所等同仁的協助。更賴國科會、農委會及中央研究院的資助，此研究才能完成。作者藉此方隅一併感謝。

參考文獻

周昌弘。1985。植物相剋作用之研究。科學月刊 13：147-166。

謝順景、謝慶芳（主編)。1989。有機農業。臺灣省臺中區農業改良場印 307 頁。

Abdul-Rahman, A. A., and S. A. Habib, 1989. Allelopathic effect of alfalfa (*Medicago Sativa*) on bladygrass (*Imperata cylindrica*). *J. Chem. Ecol.* 15: 2289-2300.

Ben-Hammouda, M., R. J. Kremer, H. C. Minor, and M. Sarwar, 1995. A chemical basis for differential allelopathic potential of sorghum hybrids on wheat. *J. Chem. Ecol.* 21: 775-786.

Blum, U., T. M. Gerig, A. D. Worsham, L. D. Holappa, and L. D. King, 1992. Allelopathic activity in wheat-conventional and weat-no-till soils: development of soil extract bioassays. *J. Chem. Ecol.* 18: 2191-2221.

Chou, C. H., 1999. Roles of allelopathy in plant biodiversity and sustainable agriculture. Crit. Rev. in Plant Physiol. 18(5): 609-636.

Chou, C. H., S. G. Chang, C. M. Cheng, Y. C. Wang, F. H. Hsu, and W. H. Den, 1989. The selective allelpathic interaction of a pasture-forest intercropping in Taiwan. II. Interaction between kikuyu grass and three hardwood plants. *Plant and Soil.* 101: 207-215.

Chou, C. H., and M. H. Hou, 1981. Allelopathic research in subtropical vegetation in Taiwan. I. Evaluation of allelopathic potential of bamboo vegetation. *Proc. Natl. Sci. Counc.* (ROC) 5: 284-292.

Chou, C. H., S. Y. Hwang, C. I. Peng, 1987. The selective allelopathic interaction of a pastureforest intercopping in Taiwan. *Plant and Soil.* 98: 31-41.

Chou, C. H., and Y. L. Kuo, 1986. Allelopathic research of subtropical vegetation in Taiwan III. Allelopathic exclusion of understory by *Leucaena leucocephala* (Lam.). *J. Chem. Ecol.* 12: 1431-1448.

Chou, C. H., and H. J. Lin, 1976. Autointoxication mechanism of *Oryza sativa*. I. Phytotoxic effects of decomporing rice reridues in paddy soil. *J. Chem. Ecol.* 2: 353-367.

Chou, C. H., and Z. A. Patrick, 1976. Identification and phytotoxic activity of compounds produced during decomposition of corn and rye residues in soil. *J. Chem. Ecol.* 2: 369-387.

Chou, C. H., and G. R. Waller (eds.), 1983. Allelochemicals and Pheromones. Insitut of Botany Academia Sinica Monograph Series No. 5. Taipei, Taiwan. ROC.

Chou, C. H., G. R. Waller, C. S. Cheng, C. F. Yang, and D. Kim, 1995. Allelochemical activity of naturally occurring compounds form mungbean (*Vigna radiata* L.) plants and their surrounding soil. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 36: 9-18.

Chou, C. H., and C. H. Yang, 1982. Alleopathic research of subtropical vegetation II. Comparative exclusion of understory by *Pyllostachys edulis* and *Cryptomeria japonica*. *J. Chem. Ecol.* 8(12): 1489-1507.

Chou, C. H., and C. C. Young, 1975. Phytotxic substances in twelve subtropical grasses. *J. Chem. Ecol.* 1: 183-193.

Chou, C. H. and L. L. Leu, 1992. Allelopathic substances and interactions in *Delonix regia* Raf. J. Chem. Ecol. 18: 2285-2303.

Einhellig, F. A., and G. R. Leather, 1988. Potentials for exploiting allelopathy to enhance crop production. *J. Chem. Ecol.* 14: 1829-1844.

Francis, C. A., and W. W. Shas, 1986. Research for sustainable agriculture by U.S. University. Paper presented at IFOAM sixth International Conference., Santa Cruz, California, August 18-21. 1986.

Gliessman, S. R., 1983. Allelopathic interactions in crop-weed mixtures: application for weed management. *J. Chem. Ecol.* 9: 991-999.

Kato-Noguchi, H., S. Kosemura, S. Yamamura, J. Mizutani, and K. Hasegawa, 1994. Allelopathy of oats. I. assessment of allelopathic potential of oat

shoot and identification of an allelochemical. *J. Chem. Ecol.* 20: 309-314.

Lee. T. H., and C. H. Chou, 2000. Flavonoid aglycones and indole alkaloids from the roots of *Acacia confusa*. *J. Chin. Chem. Soc.* 47: 1287-1290.

Lee. T. H., F. Giu, G. R. Waller, C. H. Chou, 2000. Three new flavonol galloylglycoside from leaves of *Acacia confusa*. *J. Natural Product* 63: 710-712.

Lovett, G. V., and A. H. C. Hoult, 1995. Allelopathy and self-defense in barley. *In*: Allelopathy, Organism, Processes, and Application. pp. 70-84. Indesjit Dakshini, K. M. M., and F. A. Einhellig (eds.). ACS Sgmposium Series 582, American Chemical Society, Washington DC.

Macias, F. A., J. C. G. Galindo, G. M. Massanet, F. Rodriguez- Luis, and E. Zubia, 1993. Allelochemicals from *Pilocarpus goudotianus* leaves. *J. Chem. Ecol.* 19: 1371-1379.

Macias, F. A., Galindo, J. C. G., Mlinillo, M. G., and Cutler H. G. (eds.) 1999. Recent Advances in Allelopathy, Vol. 1: A Science for the Future. International Allelopathy Society. Servicio De Publicaciones, Universidad de Càdiz, Spain.

McCalla, T. M., 1971. Studies on phytotoxic substances from microorganisms and crop residues at Lincoln, Nebraska. *In*: *Biochemical interactions Among Plants*. Pp. 39-42. National Academy of Sciences U. S. A., Washington, DC.

Muller, C. H., 1966. The role of chemical inhibition (Allelopathy) in vegetational composition. *Bull. Torrey Bot. Club* 93: 332-351.

Muller, C. H., 1974. Allelopathy in environmental complex. In:Vegetation and Environment. Pp. 73-85. (B. R. Strain and W. D. Billings, eds.) The Hague, Dr. W. Hunk B. V. Publisher.

Patrick, Z. A., 1971. Phytotoxic substances associates with the decomposition of certain plant residues in soil. *Soil Sci.* 111: 13-18.

Putnam, A. R., and W. B. Duke, 1974. Biological suppression of weeds,

evidence for allelopathy in accession of cucumber. Science 185: 370-372.

Rice, E. L., 1984. Allelopathy. Academic Press, New York and London.

Rice, E. L., 1995. Biological Control of Weeds and Plant Disease: Advances in Applied Allelopathy. Univ. of Oklahoma Press, Norman.

Tseng, M. H., C. H. Chou, Y. M. Chen, and Y. H. Kuo, 2001. Allelopathic prenylflavonones from the fallen leaves of *Macaranga tanarius*. *J. Nat. Prod.* 64 (6): 827-828.

Tseng, M. H., H. S. Kuo, Y. M. Chen, and C. H. Chou, 2003. Allelopathic potential of *Macaranga tanarius. J. Chem. Ecology.* 29 (5): 1269-1286.

Wang, T. S. C., J. Yang, and T. Chuang, 1967. Soil phendic acids as plant growth inhibitors. *Soil Sci.* 103: 239-246.

Welte, E., and I. Szabolcs (eds.), 1987. Agrostemin. International Scientific Centre of Fertilizer. Belgrade. Goettigen, Vienna.

Weston, L. A., R. Harmon, and S. Mueller, 1989. Allelopathic potenitial of sorghum-udangrass hybrid (sudex). *J. Chem. Ecol.* 15: 1855-1865.

Whittaker, R. H., and P. P. Feeny, 1971. Allelochemics: Chemical interactions between species. Science 171: 757-770.

Young, C. C., 1986. Autointoxication of Asparagus officinalis. In the Science of Allelopathy. Pp. 102-112. Putnam, A. R. and C. S. tang (eds.). John Wiley and Sons, N. Y.

稻米產銷對環境及健康之影響

張學琨[1]　　侯福分[2]

1.前桃園區農業改良場場長
2.花蓮區農業改良場場長

摘　要

稻米為世界最重要的糧食，有半數的人口仰賴米食為主糧。稻米之重要可見諸於中國文字、稻米文化及農機具之開發與使用。如稻由禾及舀組成，禾字泛指稻株形態及特性表徵；如秧、稿、穗、稔等，廣及買賣用之秤、稱、糧仔，國家稅收，民間租物、利益、杜稷和平穩定等等均以稻穀為依據；又如有米食才有力氣、精神、精力，而米的形態，加工利用之產品均有米旁為誌。米食之營養豐富，除略遜於燕麥（但產量低價高）外，為其他穀類所不及，如澱粉易消化吸收轉為能源，脂肪酸多不飽和，蛋白質生物價及利用率均比麥類為高，有降低血液中膽固醇，維護健康，延年益壽之效。稻作具有生態、生產、生活及經濟四項功效，且為任何農、園藝作物所不及。

臺灣稻作面積、總產量及單位產量在政府積極補助獎勵、品種及栽培改良與推廣下，及農民的打併，其面積及總產量在民國 65 年分別達到 79 萬公頃及 271 萬公噸的高峰，公頃產量不斷增加到目前的 5,000 公斤上下。其後由於國家經濟發展，國民所得增加，相對消費進口之麥類、油豆類、肉類、蔬果類增加，而減少稻米消費三分之二，面積及總產量分別減少 70%及 57%，而引發國人肥胖人口增加 3 倍，體質普遍偏酸，致使 25 年來與脂肪偏高有關的癌症、腦中風、心臟病、糖尿病、肝病及肝硬化、腎炎及腎變性、高血壓等八大宿疾，死亡率均列居前茅。同時稻田因轉作及休耕結果，表土易被沖刷，土壤肥力變瘠及酸化，稻田貯水面積及功能減少，地下水下降，地層下陷，海水倒灌及淹沒增加，氣溫上升，雨量減少，稻田淨化污染之面積縮小等不利效應。其解決之道，唯有喚醒國人，有「臺灣產品第一，人人愛用國貨」的意識，恢復「米飯為主、蔬果為副、肉類少吃」的健康、營養均衡的食譜，透過家庭、各級學校及社會各階層全面推動，俾以提高稻米消費，增進國人健康，減少健保負擔，是乃全國之幸。

前　言

稻作在未機械化時插秧及收穫是最辛苦的作業，為了趕工一天須工作 10 小時以上，為維持師傅們的體力，須提供豐富的三餐及二至三次的點心，且以米飯為主食。記得在小學五年級 (日據末期 1932 年) 時，家中正忙着二期作割稻子，母親忙着做點心，我問道「麵比較好吃，為什麼不給師傅們吃麵呢？」，母親說：「吃麵卡無力，吃飯才有力」。後來隨着年長我發現幾種現象；水稻成熟時麻雀特別多，且成群啄食稻穀，屋簷及樹上鳥窩特別多，屢聞幼鳥求食叫聲；家禽因偷吃稻穀，長的持別肥，下蛋數也較多；農家因有米飯可吃，也較健康快樂，每家孩子數都比都市的多 (前者有 7-8 個，後者僅 4-5 個) ；米食為主的地區人口繁殖率及密度均較麵或什糧為主食的地區為高；世界上最長壽的國民是米食為主的日本，其相撲力士須以米飯為主食且要超量；在常量攝取下，麵較米食易胖，且體型較高大，動作遲緩。

可能孩提時期稻穀受日本政府徵收不夠吃，大都以甘藷簽飯 (藷、米約各半) 甚至甘藷簽干為主食，雖難吃，但不吃不可，因那是體力的來源，那時候我多期望着如果能增產稻米，讓大家有米飯吃多好，因此我學了農，並選了稻米生產技術改良及推廣為職志。

臺灣的稻米生產在政府及農民共同努力下，由光復前的嚴重不足，快速增加到 1975 年的自足而有餘，加之國民收入提高，又受西風東漸，國人崇洋心態及國貿擴張的影響，對進口之麵、肉、蔬果產品消費逐漸增加，因此國人每年稻米消費由光復當初的 150 公斤減少至 1975 年的 130 公斤，之後一直急減，至 1997 年僅 58 公斤。因稻米消費量的急減迫使政府採取稻田休耕及轉作措施予以因應，但未對稻田面積減少對地下水及地層下陷、氣溫、雨量、地力、水土保持、空污浄化乃至景觀生態有負面的影響宣導對策，筆者乃於 1998 年 (退休前) 發表 「臺灣稻米產銷對環境之影響」 一文，嗣後國人稻米消費量之急減仍未見緩和，反而繼續下降至 2004 年的 48 公斤，減少消費近 7 成。

本文係就稻米的重要性，在中國文字的印證、營養價值、稻作之功能，產消遞減對國人健康及環境之影響，廣集文獻，予以申論因果，並提供改進管見。祈盼國人能深入瞭解，惠予重視，大家一起來 「吃米飯、救台灣、保健康、護環境、延子孫」 。

稻米的重要性

一、中國文字的見證：

稻由禾及舀組成的，木字為邊的字均與植物有關，植物頂端長有穗的均屬禾本科。而以禾為邊的字均與稻米有關。舀由爪及臼組成的，亦則稻穗收割後縛成束狀曬乾，再以爪具脫粒放入舂臼脫殼成粗糠及糙米，經風選後篩去粗糠，再將糙米放入舂臼中杵成白米與米糠，再用篩仔篩去米糠，白米供人主食，米糠可做糕餅及禽畜飼，粗糠可供家禽飼料和燃料、堆肥及抹壁材料，也可以直接施入土壤中改良理化性。禾及米兩字與其他文字結合均與稻仔及米有直接或間接關係。如描述稻株者有秧、稿、稈、穗、稔、穎、稃、穀等，描述稻米形狀及食品有粉、粗、糙、粒、糠、粕、粟、粺、精、粽、糊、糖、糟、糞、糧、糰、糲、糯；實物交易時以稻谷及米為標準，再用秤、稱仔、粮仔為衡量；官方及庶民均以稻穀為租用財物及徵收稅賦之依據；稻的栽培要密植故以稠密形容，有稻穀可刈為利，有充足的稻米社稷才穩定、國家才會和平；吃米飯才有力氣(臺語稱為氣力，則有骨才有氣，有氣才有力量之意)及精神；男人才有充足的精子，女人才有健康卵子。

據森下 (1994) 、 Luh (1991) 及林 (1993) 之研究，糙米有豐富的鋅，稻田缺鋅時稻穀不結實，人體缺鋅時阻碍精子及卵子的形成，因鋅為生殖機能、性賀爾蒙、酵素及維他命活化的促進劑，它在生殖有關的器官中的含量約為其他部位的 10 倍，稻米含鋅的量約為麥類的 3 倍，因鋅在湛水狀態比旱田較易被作物吸收，因此以米飯為主食的地區，人口繁殖率比麥類為主食者快速密集。據美國調查大學男生的精液中精子的密度有 25％的人偏低，導致精子活力不足而無法使卵子受精。在臺灣近 20 年來，因偏食麵類而少吃米飯，已造成男女不孕率的急激增加，加之不婚與離婚率的增加，人口已經近零成長。麥類與稻類同屬禾本科，何以不加禾字旁而用來、夕兩字組成麥呢？可能先人由經驗發現吃麥類為主的地方，如中國北方及東北地區，體型較高大肥胖，動作較慢，而吃米飯為主的中南地區，人較矮小，肥胖也少，動作較快，勞動效率較高，所以啟示子孫，白天要工作，宜吃米飯，晚上不工作，所以晚（夕）餐（來）吃麵類。

二、稻米的營養豐富：

糙米（又稱全米）含果皮、種皮、糊粉層（以上三層統稱為皮，碾去後成為粉狀稱為米糠）、胚（含根、芽、葉及盤狀體）及胚乳（即白米）。胚與胚乳在一起稱胚芽米，如碾去胚則成白米 (圖一) 。糙米營

養成份最豐，包括胚乳 70－75%，水 15% 左右，蛋白質 6－8% (亦有高達 10.7%；圖二)，脂肪 2－3%，食物性纖維 1－2%（美國長秈稻高達 8－9% ；表十五)，灰分 1.0－1.5%，豐富的礦物質（無機物）磷、鉀、鎂及微量的矽、鈣、氯、鐵、錳、鋁、鈉、鋅與維生素 E、B_1、B_2、B_{12}、菸鹼素等。除胚乳（含澱粉及糖類）全部及大部分蛋白質、鈉、銅、鋅與少部分脂肪尚存於胚乳中外，小部分的蛋白質、大部分的脂肪、灰分、纖維素及近半的可利用碳水化合物（包括糖類)、其餘大部分礦物質及維他命等均存在於米糠及胚中，所以糙米的營養價值遠勝於白米，胚芽米則居於兩者之間，糙米及胚芽米經淘洗及炊飯後 B_1 損失最少（表一至六；圖三、四)。澱粉（包括糖類）主要供給人體能源，經消耗尚有餘量時亦可轉化為脂肪及蛋白質並與原有之蛋白質及脂肪合成身體之肌肉。如能源不足，脂肪及蛋白質亦可轉化為能源，故運動、勞動及活動均可消耗能源，並藉流汗將脂肪酸類排出體外，防止肥胖。近年來由於嗜吃白米飯及麵類的結果，臺灣的肥胖人口已由光復後的 8%增加到 25% ，尤以國小及國中生為多。肥胖的結果會導致腦血管疾病（腦中風)、心臟病、糖尿病、高血壓性疾病及慢性肝病及肝硬化等永久無法治療的宿疾,臺灣民間有一句話咒罵人的俗語「膨肚（肥胖到腹部凸出）短命」，也是經驗邏輯的印證。糙米碾成白米越精白則蛋白質、脂肪及糖類之炊飯營養吸取率越低，尤其脂肪最低 （表六），但消化率適得其反（表十六） ，礦物質除為組成人體骨肉、筋、血液等要素外，亦可供為生化促進劑。如前述鋅有促進性機能；鋅、銅、錳均可促進鈣之吸收，有助於骨質密度，防止骨格疏鬆與老化早現。稻米的蛋白質含量雖比小麥略低（表一及表十三至十五)，但其生物價值卻較高，純淨利用率及消化率亦較多（表七、十及十一)。糙米蛋白質經飼養老鼠三年結果，血清膽固醇含量雄的降低 41%，雌的減低 37%，壽命分別延長 152 天（15%）與 241（23%）(表八)；如以糙米飯為男人蛋白質源時，血清膽固醇含量由試驗前一週的 241mg／100ml 減少至食用後三週的 173mg／100ml，減少率 28%，如不再吃糙米飯一週後又增加至 205mg／100ml，減少率降至 15% （表九），白米之必須胺基酸、蛋白質含量及生物價均比小麥粉為高 （表十） 。又米糠之脂肪酸 77% 不飽和，不致累積於血管中（表十二)，可見食用糙米比白米較能防止慢性宿疾，促進健康，延年益壽。

三、稻作之功能：

稻作具有生態、生產、生活及經濟四項功能，茲分述如下：

（一）生態性：

稻之種型繁多，適應性廣，為任何農、園藝作物所不及；就種型言有秈、稉、糯三型，經臺灣各試驗場所多年來之品種改良及栽培技術改善，三型均有許多適地適作之品種。在適溫性秈及秈糯稻均耐高溫而對低溫敏感，適作於熱帶及亞熱帶地區；稉及稉糯稻耐低溫而對高温敏感，適作於亞熱帶至溫帶（可至北緯 45°NL）地區。在適水性有僅賴雨水生長的陸（旱）稻，賴灌排水增進生育的水稻，以及低窪地區隨積水生長的浮稻。在環保性稻有數百支的根系，四通八達，密佈自表土至心土，可抵豪雨洪水沖刷表土；稻株柔軟，除在開花期及成熟期較忌颱風或強烈季節風外，其他生育期均比其他農作物不怕風、水災害，即使受害亦比較輕微。水田為地球上最大水庫，可供蓄水防洪，涵養地下水源，防止地屬下陷。綠色稻田不但可以藉強大的光合能製造碳水化合物等養分，淨化空氣，也可由廣大的蒸發散量調節氣溫、濕度、雨量等氣象因子，達到維護氣候，提供優美景觀及遊憩的場所。

（二）生產性：

稻類在熱帶地區可以終年永續生產，不忌連作，年收 2～3 作，在亞熱帶也可以兩作，溫帶地區一年僅一作。在多數穀類作物中，稻類是唯一可以連作不減產，較省肥、省工、省本的作物。最重要者其單位生產量在 C_3 穀類中最高，且產量穩定，歉收風險最少。故自古以來被人類認定為營養較好又好吃的穀類作物，其生產量也一直保持領先地位。近 30 年來世界產米國家，己投入鉅大資金、物力、人力研發並推廣機械化栽培，幾凡自稻種處理、播種（或直播）、育苗、整地兼施基肥、插秧、什草防治、施追肥、病蟲害防治、用水管理、收穫、乾燥、儲藏、碾製、加工利用乃至包裝銷售等均可由農機團隊代耕代營或由廠商調理經銷。

（三）生活性：

稻米是全世界最大宗糧食作物，稻米好吃，營養好，吃不膩，又便宜，大家吃得起（每人每年不到 2,000 元新臺幣），更是臺灣最重要的經濟作物，稻米文化與農民生活及全民健康有密切的關連，也影響國民財務與政府健保的負擔。農民為求稻作豐收，必須早出晚歸，加強栽培管理，勤奮工作，男主外女主內，雖然一家大小都很辛苦，卻是和樂融融，有苦同擔，有樂同享，鄰里相助，情義相隨。俗云：「吃得苦中苦，方為人上人」，這也是許多產、官、 學界頂尖人物出身於勞苦樸實農家的緣故。然而曾幾何時，家庭外食人口激增，普遍忘卻米食文化有相夫

教子，家庭祥和，親子情深，義理永在的功效。家庭是國家社會的小細胞，細胞健康，社會才會安寧，國家才會康壯。回顧近年來社會安亂，家庭和違，子孫成敗，均與主婦離家棄炊有關，因其結果會造成家中，三餐不繼，親子情薄，老少失去家庭溫暖，家教淪沒。由於國人忽視於稻米文化之功能，崇洋心態迄未修正，以及成家立業的傳統觀念日趨淡薄，家庭老少以米飯為主食之風漸失，導致近 50 年來進口之麥類、豆類、果品類及肉類激增至 2－10 倍（表二十一），相對減少國人本土稻米之消費三分之二，稻作面積由高峰期的 79 萬公頃遞減至 2004 年的 24 萬多公頃，減少率近 7 成（表十八），稻米總產量由 371 萬公噸減少至 116 萬公噸，減產率 57%（表十九）。

（四）經濟性：

稻米生產及收入不但影響農家、農村的經濟，也波及整個國家經濟。近 50 年由於國人對稻米消費的激減，相對增加其他麥類、油脂類、果品、肉類等進口食品類之消費（表二十一）亦即增加外滙的負擔。據統計去年臺灣白米總產量僅 97 萬公噸，總產值 3,224 億元新臺幣，而進口農產品直接、間接供為食品合計 2,067 億元新臺幣；稻米總值達 64 % 上下（表二十一、二十二）。可見我們靠人吃飯的情況非常嚴重，反觀歐美諸國主要食物自給率高達 300－800%，日本穀類自給率亦 100 %（表二十二）。我們已不能有戰爭，或與輸入糧食給我們的友邦不睦，否則會隨時陷入飢荒的深坑裡而不能自拔。20 世紀的科學家曾預警：21 世紀人類的生存危機不是戰爭，而是糧食。臺灣這個寶島是以農業起家的，而今經濟起飛了，卻不但忘卻農業的功能，持續糟蹋農地，減少農業生產與農村就業機會。尤其是國人農業外之收入漸增，攝食習性改變，以致營養失衡，慢性宿疾增加，相對增加國家健康負擔及國人醫療支出，都會影響臺灣經濟。為矯正臺灣經濟畸型的發展，今後政府宜加強引導國人多吃國產穀物，尤其稻米，少吃外來麥類及動植物食品，以利國人健康，減少健保支付及外滙負擔。

臺灣稻米產銷之演變

一、稻作面積之變化：

臺灣光復（1945）後受二次大戰的創傷，灌溉設施失修，稻作面積由日據時期 1936 年 68 萬公頃高峰滑落到 50 萬公頃，嗣經政府創修灌溉設備，增加肥料及農藥供應，改良品種及栽培技術，稻作面積迅速增加到 1975 年的 79 萬多公頃之高峰，增加率達 80%。其後因國民所得

激增，對進口農產品尤其是麥類、豆類、油脂類、牛羊肉類及部分溫帶蔬菜之消費增加，相對減少稻米之消費。1955 年每人每年白米消費量為 134.2 公斤至 2004 年減為 48.6 公斤，減少率 64%，相對增加麵類+166%，薯類（國產）減少 67%，蔬菜類（大部分國產）增加 97%，果品類最多（部分為進口）856%，肉類亦增加 380%。因此稻作面積迅速由 79 萬公頃減至目前（2004 年）的 23.7 萬多公頃，減少率達 70%，其數據比每人每年白米的消費率的遞減還少 4%，主要原因為稻作單位產量遞增，稻米總產量也隨之增加，雖然人口也有增加，兩者相抵之下，稻米年年生產過剩，不得不用休耕及轉作政策舒解問題（表十八）。

二、稻米總產量之變化：

臺灣歷年來稻米總生產量之演變受栽培面積及單位（公頃）產量之影響，日據時期在 1938 年的 140 萬公噸最高，光復當年近 64 萬公噸最低，嗣後如前述因素急速增加到 1976 年 271 萬公噸的高峯，再逐漸減少至目前（2004 年）的 116 萬公噸，減少率 57%，其減少率不如稻作面積之多（差 13%），是由於單位生產量之年年增加所致（表十九）。

三、稻米單位產量之演變：

臺灣稻作單位面積產量經由日據時期及光復迄今對於品種改良及栽培管理技術不斷試驗研究改進及推廣，在日據時期最高公頃產量為 1938 年的 1952 公斤減少到大戰後之 1273 公斤谷底，再急速增加到目前 2004 年的 4992 公斤，與日據高峯及戰後谷底比較，前後相比增加率達 123%及 192%（表二十）。

四、稻之種型及品種之演變：

臺灣稻之種型在日據（1895 年）前以高稈易倒伏之秈型在來稻為主，次為圓糯及陸稻，前者 28 萬多公頃，後兩者僅各 2 萬多公頃，至 1921 年分別增加到近 41 萬，5 萬及 4 萬公頃。日據後積極引進日本稉稻，加以試驗及品種改良，育成適合於臺灣栽培之蓬萊稻，並予以推廣，因品質佳，自 1920 年代面積急速增加，並替代原來之在來稻及圓糯與長糯稻，並持續迄今（2004 年）蓬萊稻均佔絕大面積（85.0%），次為 1970 年代開始育成推廣的良質長秈稻品種，面積佔 7.0%，再次為長糯 3.7%，圓糯 2.4%，在來 2.0%，而陸稻已很少栽培（表十八）。蓬萊米及長秈米主供糧食，其他種型品種均供為加工利用做糕餅、粽、麻糬、米乳等食品（圖十四）。就公頃產量而言，五種型目前都在 5000 公斤上下，差異不大，但仍以栽培面積最大的蓬萊稻產量最高且穩定（表十八、二十）。

稻米減產對環境之影響

一、增加表土沖刷：

水稻根系密佈表土，且稻田經常灌溉，表土濕潤，有青苔保護，韌性強，不致被豪雨或洪水沖刷（侵創率 0%）。此外稻田常年犁耕，底土（15-20 cm）漸形成一層硬盤（俗稱牛踏層或犁底層），含黏土及石灰成分比表土高，且有托撐表土及鞏固土層之功能（張, 1998II），此為在山坡地之稻田，即使很陡，也未見山崩或土石流發生之原因。如水稻轉作雜糧或其他旱作及園藝作物，則必須保持乾旱狀態（不能積水），即使休耕也會暴露表土，導致稻田保護土之功能盡失，增加表土被豪雨洪水沖刷及流失之機會，侵蝕率高達 42%（玉米）至 49%（休耕）（關矢, 1992）。

二、降低土壤肥力：

稻田在湛水狀態比旱田能防止銨態氮轉化及硝態氮向空中逸失，有機質中之氮肥也能保留較久，可以維持較高之地力（關矢, 1992）。水稻需肥量均比其他旱作物低，即使不施肥，仍有收穫，只是產量減少（20-50% 視地力而定）而已，但因稻米蛋白質較低，品質口感反而較佳。此稻田轉作或休耕，則原有之保肥力降低。稻田不論何種土壤在湛水時ｐＨ都維持在７左右，但如予轉作其他旱作物或休耕，則土壤ｐＨ會回復至原有數值，且因須多施化肥會加激土壤酸化，使土壤理化性變劣。

三、失去貯水防洪功能：

稻田有 25 cm高之田硬，每公頃貯水量最高可達 2500M^3，如在曬田或排水乾旱期間，部分雨水可藉裂縫及土壤空隙迅速滲漏地下層，貯水量會更大。在輪灌或適期灌水期間，水深通常維持 3-5 cm，公頃貯水量也有 2200-2000 M^3。如果稻田轉作其他旱作物，則田面必須維持排水狀態，無法貯水。休耕時在雨季及湛水期亦未加貯水管理，以致大部分雨水任其流失河流大海中。據日本（早瀨， 1995）調查 100 年的降雨頻率，稻田與休耕（不栽培作物）田比較，休耕田的尖峯流出量比稻田增加 38%，而會造成河水犯濫。此外稻田比山坡地（非稻田）之防洪機能約為 4 倍，比住宅區為 15 倍。可見近年來臺灣因稻作面積減少 2/3，也就是減少稻田 2/3 之貯水功能，而導致水災之頻仍之後果。

四、降低地下水位增加地層下陷：

臺灣稻田需水量一期作 125 天約需 1500 mm，二期作 100 天約需

1200 ㎜，扣去兩期作蒸發散量 1350 ㎜（日平均 6 ㎜）之後，年滲透量為 1350 ㎜（＝1.35m）。以民國 60 年代最高稻作面積近 80 萬公頃計算，年滲透量所得為 108 億 M^3，約等於 18.6 個曾文水庫有效容量（5.8 億 M^3）（張, 1998）。臺灣稻田面積已由 80 萬公頃急減至近 24 萬公頃，其滲漏量僅 23.7 億 M^3，相對減少 47.6 億 M^3，減少率達 70％，為造成地下水位普遍下降，水層及水脈消失及下降之原因。加之水田本身及沿海魚殖業之抽用，更加速地下水位之下降，近 10-20 年來全省稻田的抽水機普遍加深抽水管才能抽到地下水，是地下水位普遍下降的鐵證。據水利局 1996 年之調查（張, 1998），近 20 年來由於水層下降及消失，已引起各地區不同程度的地層下陷，少自 17 ㎝，多至 288 ㎝，範圍涵蓋臺北盆地、宜蘭、彰化、雲林、嘉義、臺南、高雄及屏東縣市之平原，合計 33 鄉鎮縣市，面積廣達 1167 km^2（＝116.7 公頃），且除臺北平原外其他縣市則因稻田面積繼續在減少，地下水位及地層仍繼續在下降及下陷。其下陷的程度以稻田減少最多的屏東縣 288 ㎝最深，次為臺北盆地 244 ㎝，與臺北縣市之住戶抽用地下水有關，但已趨穩定。再次為雲林 178 ㎝、彰化 123 ㎝，均分佈在沿海及稻田密集減少之鄉鎮，嚴重者已被海水終年淹浸，部分則在颱風伴隨高潮期造成海水倒灌及農作物災害損失。

五、降低稻田調節氣候之功能：

稻田的蒸發散作用有調節氣溫免於急升及增進夏季偶陣雨之機率。在調節氣溫功能上是靠稻株之蒸散及田面之蒸發，在臺灣夏季日蒸發散量約有 7 ㎜，即每公頃有 70 公噸的水由水面及稻株散發，其熱量等於 70 公噸的冷氣機。近 30 年來稻作面積減少 55.3 萬公頃（＝70％），亦即臺灣每日減少 3808 萬公噸的冷氣機在田間運作。據（張, 1998）統計在 60-65 年期的平均年氣溫，臺中為 22.8℃，高雄為 24.1℃，到 80-84 年則分別增加到 23.3℃ 及 25.0℃，即 20 年來臺中年平均氣溫增加 0.5℃，高雄增加 0.9℃。另在 30 年前夏季常見的西北雨（氣象局稱為偶陣雨，實際由「獅豹雨」之語音演變而來，意即雨水來得猛，去得也快），現在已很少遇見，因西北雨的水源來自稻田的蒸發散量，如每日減少 3808 萬公噸（＝M^3）的蒸發散量變成西北雨，相對減少同量的西北雨。在上述 20 年的資料中，每五年平均降雨量在新竹、臺中及高雄地區均有顯著的減少，最多達 31％，但受氣流、山區及都市建築物的影響，年度間變化不穩定。

六、稻米產銷失衡之因果影響：

1949 年政府播遷來臺後，勵精圖治，復興農業，增加糧食，以應日增的人口需要，並維持強大的軍力，抵禦中共之侵犯，進而趁機反攻大陸，收復失土，自 1953 年起推動四年一期之經建計劃，連續八期，至 1985 年結束。其間政府及農民投注相當大的人力財力，增進農產，提高農民所得，富裕農村。農業試驗改良場所，也積極改良水稻品種及栽培技術，並予推廣為重點工作，使稻作面積由光復當初的 50 萬多公頃，迅速增加到 1975 年的 79 萬多公頃高峯，稻米總生產量也與日增的糧食需要達到平衡。政府為維持自給自足而有餘之糧食生產目標，自 1974 年起設置「糧食平準基金」，實施「稻谷保價收購」制度，以穩定谷價，保障農民收益。由於 32 年來的經建效果，使國民所得大幅增加，三餐飲食也漸由「吃飯配菜」擴展到「少吃飯多配菜肉」，甚者「不吃飯光吃菜肉」的極端程度，忘卻人要健康，「吃飯配肉嘛愛菜甲」的古訓。加之中國人崇洋心態難以摒除，一直以為洋人的東西是高級的，食品都是營養好吃的，於是逐漸將吃的種類由土產的稻米蔬果肉類擴增到進口的麥類、果品及牛羊魚肉，甚至米粿等加工食品及菸酒（表二十二），養成進口品消費越多，則收入及社會地位也越高的畸型風尚。因此每人每年稻米的消費量由光復時之 149 公斤緩慢減少到 1975 年的 130 公斤，然後急速滑落至目前（2004 年）的 48.6 公斤，前半期 30 年減少 18.6 公斤 (12.5%) ，年減率不到 0.5 公斤 (0.4%) ，後半期 29 年減少 81.8 公斤 (62.7%) ，年減率 2.82 公斤 (2.2%) （表二十一） 。除此以外，農業機械化的推廣，尤其是稻作及稻米加工已達到 98% 機械化及自動化，農民不論留農與否均不再如昔日辛苦，飯量也就自然減少，據調查在民國 50 年農戶每人白米日消費量為 412 公克，非農民為 351 公克，至 75 年農戶為 287 公克，非農戶為 204 公克 (表二十七) ，前者平均 403 公克，後者 303 公克，消費比前後 4:3。如要比較 26 年前後日消費，農民減少 125 公克（30%），非農戶減少 147 公克（42%）。由上可見稻米消費減少的原因有三：（一）是稻米轉食其他的食物的份量越來越多；（二）是勞動率減少稻米消費量也相對減少；（三）是非農戶米食分量顯比農戶為少，且轉食率也顯然較高。另觀隣國的日本，其國家財經比我們富裕，國民所得也比我們高，平均壽命也比我們多 5.6 歲，但他們的稻米轉食率都比我們的低，此可由（表十七）近 10 年 (1995-2004) 兩國稻米面積及總收量看出，台灣分別減少 36 及 31%，日本僅少 17 及 19% 。臺灣米食分量激減

而增加脂肪類消費的結果，加速提高惡性腫瘤、腦血管疾病、心臟疾病、糖尿病等慢性宿疾的死亡率，且年紀越大情況越嚴重（表二十六、二十七），此種無法根治的宿疾均增加國家健保負擔及個人支出，削弱整個國家財力及人力，應予嚴肅面對檢討，提出有效方案早日改革。

稻米產銷減少對健康之影響及對應策略

一、人類攝取食物器官及消化系統之特性：

（一）牙齒及牙座結構：

人類經過幾百萬年的演進成為主掌地球的動物，就是已發展出高智慧的頭腦及活潑有力的四肢與特別發達的汗腺，以及適合於咀嚼由農漁牧所得的食物的牙齒，有整齊的門齒及犬齒與平坦臼齒，萎縮的牙座及下顎。因為人類由穴居、游牧至屯居所發展出來的農耕產物，除了清碎的蔬果類可直接鮮食以外，其餘穀類、較硬的蔬果類及魚肉類均經煮成菜餚才吃，較易消化吸收，因此不必費力就可將食物咬爛下嚥，長期下來，犬齒萎縮變小，與門齒整齊，牙座及下顎也萎縮，此與整天在咬的草食 (如牛、馬、羊) 動物有長而發達的牙座及整齊又大的門齒、退化消失的犬齒，以及肉食 (如虎、獅、豹、狗、貓) 動物有中長的牙座，特別長而發達的犬齒及尖銳的門齒及鋸型的臼齒有很明顯的差別。故人類攝食宜以素食為主肉食為副或僅素食也可以，而不宜肉食。

（二）消化器官及排汗系統：

人類與果食、草食動物相同，具有發達完善的唾液腺，內有許多酵素可初步消化穀物及水果，但肉食動物只有細小的唾液素不能事先消化穀物，故不宜吃穀物；人類的胃酸與果食及草食動物相同僅為肉食類的 1/3，故不宜吃堅硬的肉類與骨頭；人類與果食及草食動物相同有長於身體 12 倍的腸道以慢慢消化植物性食物，但肉食性者腸長僅為身體的三倍，俾能迅速通過腐敗的肉類排出體外；肉類在人的胃腸中通過緩慢約需 5 天，但素食者只要一天半即可通過。人類與果食動物相同可藉皮膚上的毛孔及汗腺排汗散熱，以免體溫因炎熱氣候及激烈勞動或運動而增加發生中暑，同時排出脂肪酸、膽固醇、塩類等血液中過多的有害物質，但草食及肉食動物皮膚上毛孔不發達，汗腺缺如而以張嘴經舌頭散發體熱，故減少用鼻孔過濾空污，影響健康。可見人類生理構造雖與非肉食動物有許多相同之處，但因有肉食易使體質酸化，導致癌症及心血管及糖尿病等無法治癒的慢性宿疾，惟如有均衡的營養配合適當運動或勞動，可藉體能消耗及流汗將血液中過多的脂肪酸類排出體外，再多喝

開水，即可淡化血液的酸性，減少脂肪酸類在血管累積，防止血管硬化及其後續的慢性宿疾，增強人體免疫力，保持健康，也是人類比較長壽的原因。

二、稻米消費減少對健康之影響與改進對策：

（一）稻米消費減少對健康之影響：

如前所述人體的進化已到素食為主，肉食為副的穩定階段；因人要用腦及四肢工作勞動所以依生理需要須吃大量的碳水化合物類 (57-68% Carbohydrates 以 C 表示，內含澱粉類及糖類) 為體力的能源，少量的油脂 (20-30% fat 以 F 表示) 及蛋白質 (12-13% protein 以 P 表示)做人體之肌肉運作之需（圖十三）。依日、美兩國及 FAO 之調查 (糧食局 1988) ，均衡的 CFP 比理想型為 61-65：20-30：11-14 ，世界壽命最長的日本平均 81.1 歲，為 62.1：25.1：12.8，其三種營養成分比均在理想型範圍內，其次歐洲國家(尤其中歐)壽命也比較長 (表二十八圖十三) ，再檢視壽命中等的國家，如法國 79.8 歲 CFP 為 41.5：45.1：13.4，美國 77.3 歲 CFP 為 43.3：44.2：12.5，臺灣 76.0 歲 CFP 為 43.0：43.5：13.5，以上三國都是 C 偏低 20%，而 F 偏高 20%左右，均屬肉類攝食過多型，故體型肥胖者多，而 P 尚正常；再看壽命較低的印度為 61.0 歲 CFP 比為 76.6：14.1：9.9，即屬於 FP 均偏低的營養不良型，體格瘦弱居多。另檢討臺灣近 30 年來由於經濟發展迅速，國民所得增加，攝食種類由國產品迅速擴增到進口品，數量也相對增加 (表二十一) 。再看去 (2005) 年進口的蔬果類、麵類、飼料玉米、黃豆、調製食品飲料及菸酒等總值 2,067 億元新臺幣，佔臺灣白米總值 3,224 億元的 64%（表二十二)，乃是近 30 年臺灣每人每年糙米消費量減少 70%的主因，也是國人受西風東漸及崇洋心態影響的結果。反觀同為亞洲人的日本、血統與臺灣類似，同樣受西風浸潤，但由於他們不喜歡食油膩的食物及甜飲，而嚐好米食為主，菜肉為副的清淡料理，加上有「日本第一」的自尊風骨，而不輕易接受西式及中式的多肉油膩餐飲，故能維持每人每年 68 公斤白米的消費量，使 C 的消費率保持在 62%的理想範圍。然而在臺灣，由於近 30 年來攝取進口的麵類，油脂類及肉類大量增加，導致稻米消費量每人每年減少至 48 公斤，減少率近 7 成，油脂肪類增加一倍，導致體型普遍肥胖，過胖者由過去的 8%，增加到 25%。在多肉高油脂的攝食下，體質變為酸性，血脂肪、膽固醇、三酸甘油脂等脂肪酸增加，血管因油脂類的累積而硬化，砠碍血液流通，而造成腦中風（為世界之首），心臟負荷增加而致心臟疾病，心臟病在吃麵類及牛肉為

主的歐美國家均列主要死因的首位（圖十一），但腦中風反而較低於日本可能與吃葡萄及喝葡萄酒之風有關，近 10 年臺灣腦中風率已降低 15.3%，可能與上述受西風影響。現在回頭檢討臺灣 25 年來為何癌症一直佔十大死亡之首呢？原因很簡單，就是偏食肉類時血液是酸性的，細胞即行老化，無法防禦濾過性癌病原體入侵，因血液酸性時鎂會從細胞中吐出，使血液中充滿鎂的成分，相反在酸性血液中的鈣為了中和酸性而被消耗，而減少鈣在細胞中保持滲透壓的功能，細胞即萎縮老化，此時在細胞壁的癌病原體，就會作物理性的侵入細胞中與細胞核結合而成為活潑的癌細胞。故要抑制癌細胞只有少吃或不吃肉類、奶油、海產、卵、糖、酒等酸性食物而多吃鹼性的蔬菜，牛乳、麥苗、牧草、糙米等粗糙的食物，血液自然變成鹼性，癌症就無機會入侵。因這些食物含多量的鈣可保持血液的鹼性，同時含有充足的鉀可維持細胞及血液中較高的鉀鈉比（通常是 10 倍），如細胞及血液中鉀不足則癌細胞立即開始繁殖，老年人患癌的機會增加，就是因細胞中的鉀減少之故（表二十六）。鉀鈉不僅涉及癌症，也與高血壓、心臟病和糖尿病有關。食物中含鈉塩高，血壓就會上升，加鉀後，血壓會降低。鉀不足時胰臟的功能降低，致胰島素（insulin）分泌不足，就會引發糖尿病。含鉀多的食物有大豆（最高鉀鈉比達 830）、一般蔬菜、仁果類、香蕉、南瓜等，而糙米是含磷、鉀、鎂很高而鈉很低的穀類（K/Na 為 125，表五），反之鉀鈉比較少的是糖果、餅乾、罐頭、麵包、燻肉等。據調查五萬名素食者（摩門教徒，少吃肉為其特色）罹癌率比普通人少 50%。此外避免或少吃有致癌物質如炸牛排及香菸均含「苯基嘌呤」，肉類脂肪炸食物在高溫下就產生「甲基胆菲」，此外多種農藥如殺草劑及殺蟲劑，食物中的化學添加物、硝酸塩、亞硝酸塩、防腐劑等均含致癌物質。肉食過多的人尿中尿素（尿素氮）與尿酸增加，即增加腎臟的負擔，如影響至功能時，腎臟病就會發生，嚴重時要洗腎，腎臟如失去排除尿酸的功能時就儲存在關節裡，而引發痛風，風濕症、關節炎。此外肉食者因缺乏天然纖維素（可由米食及蔬果中得到）會發生急性腸絞痛、便秘、盲腸炎、肥胖症等（李，1987）。

（二）恢復米飯為主食的營養均衡策略：

上述分析已明顯指出臺灣長期以來少吃米飯，多吃了油肉類而致癌症、腦中風、心臟病、糖尿病、肝病及肝硬化、腎臟病、高血壓等八大死亡原因的來龍去脈。此八項疾病都是無法用藥根治的，亦即只能以食物兼藥物加以控制而已。對國家及國民負擔至深且鉅，實值大家檢討

進，否則臺灣不但變成亞洲病夫，也將由富裕康樂走入貧窮悲情的國家行列，茲提出幾項策略供政府及國人之參採：1.恢復「米食為主，蔬果為副，肉類少食」的三餐飲食習慣：我們攝取食物的種類份量因年齡、工作種類、運動程度及健康情況有異。通常一個健康有工作的壯年男人在早餐之攝食為糙米飯兩碗、蛋一個、牛乳一大杯、豆腐一方塊、蔬菜 1-2 種、花生、魚干、肉鬆、醬菜等少許；午餐為胚芽米飯兩碗（內含 1/5 黃豆）、莖葉菜、根菜、海藻類、瓜果類、仁果類等 2-3 種（可一起混炒）、肉類一臺兩，水果一小盤、茶水一杯；晚餐為白飯一碗（內含 1/5 大豆），與中餐不同的蔬菜類 2-3 種，最好分開炒煮、肉類一臺兩（與中餐不同類為宜）、水果一小盤，飯後湯類一碗或茶水一杯。至於婦女、兒童、老年人及工作不辛苦者飯菜肉類可酌減，相反工作辛苦之勞動者飯量可再增加 1-2 碗。至於麵類（除了燕麥的營養比白米稍好外）因生物價，吸收利用率、消化率均比米飯差，且易發胖，導致慢性宿疾，為減少進口食品及基於國民健康與外匯負擔，增進國產稻米及果菜肉類消費，儘量少吃外來食物為宜。2.宣導「素食有益，肉食有害健康」之訊息：並列入中小學課業教材，大專院校更要將「營養與健康」列入共同必修的課程，俾使各級學生對攝取糧食有正確的認知，以利保健、環保、富國、裕民。3.推動「主婦回廚房，三餐 DIY」的米食文化：促進家庭親情，生活溫馨美滿，養成餐餐想回家吃飯的習慣，俾以減少外食外遇機會，防止家庭風波，子女就能得到完美的家庭教育，倫理道德常存，社會安和樂利，不必為治安付出龐大的人力、物力、財力，誠為全民之福。4.透過法規，推行「餐飲不忘米食，美食兼顧蔬果」：中國料理是世界第一的色香味具全的美食，它重點是以肉食為主，幾凡陸海空可以當菜餚的肉品蔬果都包括在內，獨獨不供米飯，故常進出餐廳者健康也常出問題。如果運用法規或獎勵餐食業者及消費者能在大魚大肉的同時吃一碗米飯及一份蔬果，即國人近來所患肥胖症及八大死亡疾病就會緩和下降。5.規定「國產米分級包裝，並與進口米區隔銷售」：我國加入 WTO 為成員後，依約定書已進口外國米在國內銷售，由於台灣土產米品質比大部分進口米為佳，且臺灣米價比進口米為高，進口廠商則將進口米與國產米混雜後銷售，其價格在進口米與國產米之間，其成分未加註明，即使有標明，但由於米粒相同亦無法辨認，致品質與售價無法合理的論定，而發生售價不合理，消費者及農民雙方利益同受損失，故應制定法規，限制國產稻米應分級包裝標明品種名，生產方法、地點、生產期作、碾米程度（糙米、胚芽米或白米）、碾米包裝日期、品質保證

有效期間、生產者、加工者、煮飯方法及價格等。進口米亦要標明，並與國產米區隔定價銷售，不得混淆，如要混淆即註明混合成分由消費者自行調配。6.建立稻米專賣窗口制度，獎勵消費者：由糧政單位制定法規，設立稻米銷售由專賣店單一窗口銷售，規定餐廳及餐飲業者必須採用政府認定之良質米，並予超量銷售之獎勵。一般家庭則依人數及年齡為基數，消費超過者予以優待價格供應，其差額由政府補貼。

結　論

稻米為世界最重要的糧食作物，總生產量之 92％ 在亞洲，而且全世界半數以上人口以米食為主糧。稻米對人類及環境之重要性可見諸中國古米文字之啟示及現代營養學，及環境功能之印證。在文字方面稻由禾爪臼組成，稻屬禾本科穀類，收穫後結束吊竿晒乾後，以爪脫谷，經舂臼杵成糙米再杵成白米供為主食，食米者體型結實矮小，活潑有力，耐於工作。同為人類次要穀類之麥類也是禾本科，先人不以禾字為旁組字，而僅用來夕兩字合成，測字意可能麵類消化轉能較慢，澱粉轉化為肌肉之機率較多，體格高大易胖，動作較遲鈍，工作效率較差，故宜在晚（夕）上（來）吃。而近年來多數學者也指出稻米確實消化較快，容易轉化為體能，脂肪大部分（77％）都不飽和，有利新陳化謝及健康，蛋白質之生物價及利用率除燕麥都比其他麥類穀物為高，可消減膽固醇含量，有利健康，此外纖維素、灰分、無機物（尤以磷、鉀、鎂為多）、維他命Ｂ群及Ｅ均有微量存在。以米飯適量為準時，澱粉以外之營養成分稍為不足，但可由蔬果及肉類做適量之補充。稻之類型品種多、分佈極廣，適應性又強，栽培容易，且已全由機械化及自動化作業，產量在 C_3 穀類中最高，抗逆境尤強，均為其他作物所不及，最重要的稻米營養好，好吃又吃不膩，價格也便宜，大家吃得起，還有它含鋅的量比麥類為高，可促進男女生育機能。栽培水稻有一、防止表土沖刷；二、維持土壤肥力；三、增進貯水防洪功能；四、維護地下水位防止地層下陷及海水倒灌與淹沒；五、調節氣溫及雨量等環保功能。臺灣近 30 年來却因大家年年減少飯量，稻作面積已減少 7 成，幾使上述之稻作環保功能減失。由於稻米每人每年消費減少 7 成，相對增加進口的麥類、豆類、油脂類、蔬菜及牛羊肉類，國人營養嚴重失衡，碳水化合物消費減少 $^1/_3$，相對脂肪增加 1 倍，導致國人體質普遍偏酸性，肥胖者年增，十大死亡率中有八項是因攝食嚴重失衡所引起的，依序為癌症、腦中風、心臟病、糖尿病、肝病及肝硬化、腎炎及腎變性及高血壓等均屬無法治癒的終生宿疾，對國家及全民經濟是沉重負擔。其解決之道唯有推動國人

營養平衡之餐食習慣。其策略有：一、恢復「米食為主，蔬果為副，肉類少吃」的三餐習慣；二、宣導「素食有益，肉食有害」之訊息；三、推動「主婦回厨房，三餐親自做」的米食文化；四、推動「餐飲不忘米食，美食兼顧蔬果」的外食風尚；五、規定「國產米分級包裝，與進口米區隔銷售」；六、建立「稻米專賣窗口制度，獎勵米食績優消費者」。

表一、米類之營養成分表 (100 克之含量)

名稱	熱量 Cal 100g	水分 (g)	蛋白質 (g)	脂肪 (g)	醣類 (g)	纖維 (g)	灰質 (g)	鈣 (mg)	磷 (mg)	鐵 (mg)	維生素B1 (mg)	維生素B2 (mg)
小麥(麵粉)	336		9.0	1.2	34.0	0.2		18	96	1.2	0.18	0.05
白米	354	13.4	6.5	0.5	78.1	0.3	0.7	15	151	0.6	0.11	0.04
糯米	354	14.3	6.5	1.2	76.8	0.2	1.0	8	120	2.2	0.13	0.04
糙米	340	16.0	6.7	2.0	75.4	0.9	0.8	21	280	1.5	0.30	0.05
胚芽米 在來	366	12.3	7.2	3.6	75.4	0.6	0.9	24	178	3.4	0.34	0.17
胚芽米 蓬萊	369	12.6	6.8	4.8	74.2	0.8	0.8	21	152	1.6	0.31	0.11
米飯	158	62.0	2.8	0.4	34.5	0.1	0.2	4	51	0.9	0.01	0.01
米糠	208	11.7	13.1	18.0	36.1	9.1	12.2	200	960	2.5	1.50	0.31

資料錄自：「臺灣產常用食品之營養成分」及「食品工業發展研究所研究報告」

表二、全米與白米的營養比較 (100 克)

成　分	全　米	白　米	全米4/5 黃豆1/5
蛋白質	7.4 克	6.2 克	13.2 克
脂　肪	2.3 克	0.8 克	5.4 克
碳水化合物	72.5 克	76.6 克	63.5 克
礦物質	1.3 克	0.6 克	2.0 克
鈣	10.0 毫克	6.0 毫克	51 毫克
磷	300 毫克	150 毫克	341 毫克
鐵	1.1 毫克	0.4 毫克	2.4 毫克
維生素 B1	0.36 毫克	0.03 毫克	0.37 毫克
維生素 B2	0.1 毫克		0.14 毫克
維生素 E	10.0 毫克	1.0 毫克	68 毫克
菸鹼素	4.5 毫克	1.4 毫克	4.2 毫克
卡路里	337 卡	351 卡	334 卡
食物性纖維	8.5 克	0.5 克	10.8 克
水分	15 克	14 克	15 克

資料錄自：吳忠耕，全國吃全米

表三、 Proxlmate Analysls of Brown Rice and lts Milllng Fractions of 14 Moisture

Nutrient	Browna	Milled[a,b]	Bran[a,b]	Embryo[a]	Polish[a,c]
Protein(%N×5.95)	7.1-8.3	6.3-7.1	11.3-14.9	14.1-20.6	11.2-12.4
Crude fat	1.6-2.8	0.3-0.5	15.0-19.7	16.6-20.5	10.1-12.4
Crude fiber	0.6-1.0	0.2-0.5	7.0-11.4	2.4-3.5	2.3-3.2
Crude ash	1.0-1.5	0.3-0.8	6.6-9.9	4.8-8.7	5.2-7.3
Available carbohydrates	72.9-75.9	76.7-78.4	34.1-52.3	34.2-41.4	51.1-55.0
Starch	66.4	77.6	13.8	2.1	41.5-47.6
Neutral detergent fiber	3.9	0.7-2.3	23.7-28.6	13.1	—
Pentosans	1.2-2.1	0.5-1.4	7.0-8.3	4.9-6.4	3.6-4.7
Hemicelluloses	—	0.1	9.5-16.9	9.7	—
Free sugars	0.7-1.3	0.22-0.45	5.5-6.9	8.0-12	—
Lignin	—	0.1	2.8-3.9	0.7-4.1	2.8

A Juliano(1985), Houston and Kohler(1970), Willis et al.(1982).
B Alvarez and Rook(1978), Mod et al.(1978).
C Houston(1972), Schaller(1978), Rasper(1979), Maningat(1981).

表四、 Inorganic Constituents of Brown Rice and lts Fractlon (μg/g)

	Brown Rice	Milled Rice	Rice Bran	Rice Embryo	Rice Polish
Aluminunm	—	0.73-7.23	54-369	—	—
Calcium	65-400	46-385	250-1,310	510-2,750	90-910
Chlorine	203-275	163-372	510-970	1,520	—
Iron	7-54	2-27	130-530	110-490	100-280
Magnesium	380-1400	170-700	8,600-12,300	6,000-15,300	5,700-7,600
Manganese	13-42	10-33	110-880	120-140	50-80
Phosphorus	2,500-4,400	860-1,920	14,800-28,700	17,100-27,300	15,300-25,100
Potassium	1,200-3,400	140-1,200	13,200-22,700	3,800-21,500	9,300-18,000
Silicon	190-1,900	50-370	1,700-7,600	460-1,900	560-2,400
Sodium	31-176	22-85	180-290	160-240	65-210
Zinc	15-22	3-21	50-160	100-300	40-60

Source:Fossati et al(1976), Kennedy and Schelststraete(1975), Juliano(1980).

表五、糙米及白米之無機成分 (mg%)

	磷	鉀	鎂	氯	矽	鈣	錳	鈉	鋅	鐵	銅	(全灰分)%
糙米	300	250	120	15	15	10	2.5	2.0	1.8	1.0	0.3	1.3
白米	150	120	45	14	2	6	1.5	1.0	1.3	0.4	0.2	0.6

資料錄自：曾耀崐 1991 從米食談米的營養

表六、碾米程度與炊飯營養素吸取率 (%) (沼田勇博士研究報告)

碾米程度	熱量(cal)	蛋白	脂肪	糖類
全　米	89.2	74.9	58.3	98.6
五分搗米	90.8	73.5	48.7	96.6
七分搗米	91.2	71.5	42.6	96.4
白　米	88.4	65.1	16.5	92.2

表七、飼料蛋白質利用情形(供試老鼠) (%)

蛋白質來源	蛋白質生物價		蛋白質純淨利用率	
	♂	♀	♂	♀
食　米	87	80	77	71
小麥粉	72	65	66	58

資料錄自：謝明哲醫師演講稿：三餐離不開，也吃不厭的米飯

表八、不同蛋白質源對血清膽固醇含量及平均壽命影響(老鼠)

調查項目	食米蛋白質		牛乳酪蛋白質	
	♂	♀	♂	♀
血清膽固醇含量 (mg/100ml)指數	81 59	85 63	138 100	134 100
平均壽命(月)	1,164 +152	1,286 +241	1,012 0	1,045 0

資料錄自：謝明哲醫師演講稿

表九、成年男子以食米為蛋白質源其血漿膽固醇含量之變化

調查項目	試驗期間(日)				
	-7○	1	8	22	29 △
血清膽固醇含量 (mg/100ml)指數	241 100	236 98	200 83	173 72	205 85

◯試驗前一週　　　△試驗結束後一週

資料錄自：謝明哲醫師演講稿

表十、米、麥及其他食品蛋白質之必須胺基酸組成，蛋白質與生物價 (對Nlg之mg*)

蛋白質＼必須胺基酸	標準型蛋白質	牛乳	全卵	牛肉	豬肉	魚肉	米	小麥粉	玉米	大豆	馬鈴薯	碗豆	甘藷	波菜
異白胺酸	270	407	428	332	320	317	322	262	293	333	260	336	283	275
白胺酸	306	630	565	515	462	474	535	442	827	484	304	504	345	461
二胺基己酸	270	496	396	540	515	549	236	126	179	395	326	348	293	367
苯胺基丙酸	180	311	368	256	240	231	307	322	284	309	285	290	344	295
含硫胺酸	270	211	342	237	233	262	222	192	197	197	159	157	219	239
息寧胺酸	180	292	310	275	292	283	241	174	249	247	237	230	324	285
色胺酸	90	90	106	75	80	62	65	69	38	86	72	74	115	101
擷胺醇	270	440	460	345	302	327	415	262	327	328	339	317	484	352
蛋白質	100	78	100	83	85	70	72	47	42	73	56	58	81	70
生物價	-	90	94	75	79	75	75	52	54	75	71	48	72	-

(FAO 1957)

＊：1g 蛋白質含各種胺基酸之 mg 數。

表十一、穀類之精白與蛋白質的生物價(幼白鼠)

	生物價	
	全粒	精白
米	80	75
小麥	76	60
黑麥	73	63
玉米	78	32

表十二、米糠之脂肪酸種類比 (%)

飽和脂肪酸		不飽和脂肪酸	
廿四酸	2-3	亞麻油酸	32.7
花生酸	2-4	油酸	44.0
豆蔻酸	0.3-1	次亞麻油酸	跡
硬脂酸	5-6		
軟脂酸	12-1		

表十三、穀類胺基酸含量分數

精白米	小麥粉(低筋）	小麥粉（高筋）	(黑)麥	小米（精白）	薏苡（精白）	蕎麥（全層粉）
65	44	38	68	35	29	92

資料來源：日本科學技術廳資料調查會編（1986）改訂日本食品胺基酸組圖表大藏印刷局

表十四、穀類精白（粒、粉）之成分　　（可食部 100 公克含量）

	熱量	水分	蛋白質	脂肪	碳水化合物		灰分	無機物					維他命		菸鹼酸
					糖質	纖維		鈣	磷	鐵	鈉	鉀	B1	B2	
	kcal	g	g	g	g	g	g	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
白米	356	15.5	6.8	1.3	75.5	0.3	0.6	6	140	0.5	2	110	0.12	0.03	1.4
小麥(高筋)	366	14.5	11.7	1.8	71.4	0.2	0.4	20	75	1.0	2	80	0.10	0.05	0.9
裸麥	350	13.5	6.5	1.6	75.0	0.7	0.7	20	130	20	1	160	0.15	0.07	0.9
小米	364	12.5	10.5	2.7	72.4	0.5	1.4	11	190	2.0	3	330	0.20	0.07	1.7
蕎麥	361	13.5	12.1	3.1	68.5	1.0	1.8	12	400	2.8	2	410	0.46	0.11	4.5
稗子	370	12.0	9.8	3.7	72.4	0.8	1.2	12	270	1.7	2	320	0.05	0.03	2.0

資料來源：日本科學技術廳資源調查會編（1982，P～35-58），訂日本食品標準成分表，大藏印刷局

表十五、美國穀類之化學成分(％)　　（USOA year book 1939）

穀類	水分	蛋白質	脂肪	碳水化合物		灰分	無機物		蛋白質效率比＊
				澱粉	粗纖維		鈣	磷	
稻米	9.7	7.3	2.0	67.0	8.6	5.4	0.10	0.10	1.7
小麥	10.6	12.0	2.0	71.6	2.0	1.8	0.05	0.38	1.5
大麥	9.6	12.8	2.3	66.9	5.5	2.9	0.07	0.32	-
燕麥	7.7	12.5	4.4	60.7	11.2	3.5	0.10	0.40	1.9
黑麥	9.5	11.1	1.7	73.7	8.6	1.9	0.04	0.37	1.6

＊ Lock hart & Nesheim 1978

表十六、稻米與小麥主要成分之消化率（%）

項　　目	碳水化合物	蛋白質	脂　肪	灰　分	總熱量
糙　　米	98.6	74.9	58.3	78.0	89.6
七分糙米	99.6	83.0	80.5	87.3	95.9
精 白 米	99.7	85.8	86.8	90.9	97.3
精白小麥	99.0	74.0	62.0	-	93.0

資料來源：曾耀崐 1991 從米食談米的營養

表十七、近 10 年臺灣及日本稻作面積與收穫量之比較（千公頃/千公噸）

年度	臺灣栽培		日本栽培		臺灣收穫量		日本收穫量	
	面 積	面 積	面 積	指 數	總收量	指 數	總收量	指數
1995	363	100	2,106	100	2,072	100	10,724	100
1996	30.8	96	1,967	93	1,931	93	10,328	96
1997	364	100	1,944	92	2,042	98	10,004	99
1998	358	99	1,793	85	1,859	90	8,939	83
1999	353	97	1,780	84	1,916	92	9,159	85
2000	340	94	1,763	84	1,906	92	9,472	88
2001	332	91	1,700	81	1,724	83	9,048	84
2002	307	85	1,683	80	1,803	87	8,876	83
2003	272	75	1,600	76	1,648	79	7,779	73
2004	237	64	1,697	81	1,434	69	8,721	81

資料錄自：農委會農糧署台灣糧食統計 2005 日本農林水產省 2005

表十八、臺灣稻作面積每隔五年變化情形 (1900～2004) 單位：公頃

年 度	水 稻					陸 稻	總 計
	蓬 萊	在 來	圓 糯	長 糯	長 秈		
1900		284,527	20,893			20,233	325,653
1921		408,104	49,477			37,845	495,426
1926	119,559	325,495	44,288	18,382		40,037	567,161
1931	143,010	359,623	70,368	21,698		39,014	633,713
1936*	290,890	263,110	72,514	16,115		39,775	681,534
1941	353,236	240,839	20,337	8,728		23,772	646,914
1944	400,855	181,350	2,188	1,425		14,870	600,688
1945	263,968	224,637	1,671	954		10,788	502,018
1946	196,036	329,442	4,986	3,353		30,199	564,016
1951	385,455	328,703	10,379	7,187		57,351	789,075
1956	450,750	280,252	10,726	5,643		36,248	783,629
1961	486,449	259,452	11,080	5,476		20,053	782,510
1966	556,393	202,550	11,713	4,606		13,373	788,635
1971	568,505	159,048	12,197	4,955		8,746	753,451
1975**	653,632	113,328	13,152	4,608		5,528	790,248
1976	665,082	100,063	12,115	3,984		5,099	786,343
1981	600,695	18,881	13,113	6,504	26,883	1,006	667,082
1986	474,945	10,575	13,139	6,234	26,534	134	531,561
1991	377,527	6,784	14,713	7,747	22,020	11	428,802
1996	303,926	2,210	5,743	8,337	27,546	1	347,762
2001	284,809	3,749	6,189	12,427	24,517	28	331,619
2004	200,320	4,650	5,786	9,015	17,224	14	237,015
指 數	85.0	2.0	2.4	3.7	7.3		100 (30)

註：*日據時期 1895～1945 年，稻作最大面積為 1936 年之 681,543 公頃。

**臺灣光復(1945 年 8 月，即民國 34 年)後稻作最大面積為 1975 年之 790,248 公頃。

1.表中數據為第一、二期作及中間作之合計，面積以實際收穫為準。

2.資料來源：(1)磯永吉 1947 年水稻品種之區域適應性、農試所彙報 4 號。

(2)臺灣省政府糧食處：台灣糧食統計要覽 1946～1999 年。

(3)行政院農業委員會：農業統計年報(2001,2004)。

3.蓬萊稻於 1922 年開始推廣，長糯稻於 1926 年開始統計，長秈稻於 1980 年開始推廣，1981 年開始統計。

4.(30)指數為面積總計 2004/1975=30：100 。

表十九、臺灣稻(糙)米總生產量每隔五年變化情形 (1900～2004）單位：公噸

年 度	水 稻					陸 稻	總 計
	蓬 萊	在 來	圓 糯	長 糯	長 秈		
1900		284,527	20,893			20,232	325,653
1921		613,256	62,766			34,877	710,899
1926	186,729	539,106	89,722	30,513		41,669	887,739
1931	272,680	617,330	87,491	37,817		53,231	1,068,549
1936	662,743	500,207	123,094	30,166		49,274	1,365,484
1938*	753,960	515,646	82,305	19,514		31,189	1,402,414
1941	681,572	441,236	34,329	16,952		24,917	1,199,006
1944	753,005	300,464	3,618	2,033		9,001	1,068,121
1945	333,844	296,457	1,776	1,178		5,573	638,828
1946	314,546	535,042	8,093	5,323		31,017	894,021
1951	781,123	609,132	19,450	12,751		62,336	1,484,792
1956	1,092,043	629,791	24,608	12,101		31,286	1,789,829
1961	1,303,906	647,628	27,251	12,911		24,580	2,016,276
1966	1,729,070	587,926	31,659	12,435		18,571	2,379,661
1971	1,777,703	476,166	34,195	14,049		11,689	2,313,802
1976**	2,318,069	335,859	37,567	12,390		9,100	2,712,985
1981	2,101,991	88,043	42,256	21,620	118,990	2,196	2,375,096
1986	1,766,336	23,007	60,052	29,232	94,907	325	1,973,823
1991	1,605,958	27,789	59,121	33,733	92,111	20	1,818,732
1996	1,373,500	9,708	25,027	36,705	132,348	1	1,577,289
2001	1,185,977	16,940	25,457	56,693	111,106	—	1,396,173
2004	983,545	24,037	29,546	44,900	82,495	—	1,164,523
2004/最高年	42.4	37.1	24.0	793	62.3	—	42.9

註： *日據時期 1895～1945 年糙米生產量最大為 1938 年之 1,402,414 公噸。

**臺灣光復迄今 (1945 至 1997 年) 糙米生產量最大為 1976 年之 2,712,985 公噸。

1.表中數據為一、二期作及中間作之合計

2.資料來源：同表十八。

3.行政院農業委員會：農業統計年報 (2001,2004) 。

表二十、臺灣每公頃平均糙米生產量每隔五年變化情形 (1900～2004）　單位：公斤

年度	水稻					陸稻	總計平均
	蓬萊	在來	圓糯	長糯	長秈		
1900		972	882			598	943
1921		1,503	1,269			922	1,435
1926	1,562	1,656	1,409	1,664		1,041	1,565
1931	1,907	1,717	1,243	1,743		1,364	1,686
1936	2,285	1,901	1,697	1,872		1,239	2,004
1938*	2,501	2,083	2,102	1,904		1,150	2,242
1941	1,929	1,835	1,688	1,858		1,048	1,853
1944	1,878	1,657	1,654	1,427		605	1,778
1945	1,265	1,320	1,063	1,235		517	1,273
1946	1,605	1,624	1,623	1,587		1,027	1,585
1951	2,026	1,853	1,874	1,774		1,087	1,882
1956	2,423	2,247	2,294	2,145		863	2,284
1961	2,680	2,496	2,460	2,358		1,226	2,557
1966	3,108	2,903	2,703	2,699		1,389	3,017
1971	3,127	2,994	2,803	2,836		1,336	3,071
1976	3,485	3,357	3,101	3,110		1,785	3,450
1981	3,533	3,604	3,222	3,324	4,426	2,183	3,560
1986	3,719	3,258	3,544	3,666	3,892	2,605	3,713
1991	4,254	4,096	4,018	4,354	4,183	1,796	4,241
1996	4,519	4,395	4,358	4,403	4,804	2,484	4,536
1997	4,554	4,466	4,512	4,519	4,731	3,382	4,565
2001	4,166	4,519	4,113	4,562	4,532	—	4,378
2004**	4,910	5,170	5,106	4,981	4,790	—	4,992
2004/1938	196	248	243	262	—	—	223
2004/1945	388	392	480	403	108***	—	392

註：*、**分別為日據時期及光復迄今單位產量最高年份 (民國 27 年及 93 年)。

1945 (民國 34 年) 臺灣光復後當年因第二次大戰影響單位產量一度劇減，嗣後迅速恢復。

***2004/1981 (生產後，開始統計之年度）　。

資料來源：同表十八。

表二十一、臺灣近 50 年來每人每年糧食消費量 (公斤/每隔 5 年)

年 度	白 米		麵 粉		薯 類		蔬 菜 類		果 品 類		肉 類	
	kg	指數	kg	指數	kg	指數	kg	指數	kg	指數	kg	指數
1955	134.2	100	14.3	100	65.7	100	57.6	100	14.5	100	16.3	100
1960	137.7	103	20.0	140	68.4	104	61.1	106	12.1	152	16.2	90
1965	132.9	99	22.3	156	51.3	78	56.8	99	21.0	145	19.2	118
1970	134.5	100	25.4	178	21.3	32	84.8	147	45.8	315	25.3	155
1975	130.4	97	24.2	169	14.5	22	109.8	191	55.0	379	27.0	166
1980	100.8	75	23.6	165	8.2	12	129.6	225	70.2	484	42.6	262
1985	80.2	60	24.9	170	14.4	22	103.4	180	111.5	769	55.8	342
1990	65.9	49	28.6	200	20.2	31	93.3	162	131.5	907	62.9	386
1995	59.1	44	31.9	223	18.1	28	101.9	177	137.5	948	72.8	447
2000	52.7	39	32.6	228	23.7	36	115.5	201	136.3	940	70.0	429
2004	48.6	36	37.9	265	21.4	33	113.2	197	138.6	956	78.2	480
最高	141.5	106	37.9	265	68.4	104	129.6	225	150.1	1,035	78.8	483
消費	1967	(34)	2004	(265)	1960	(31)	1980	(225)	1997	(1,035	1998	(483)

註：1.資料來源：臺灣糧食統計委員 2005 年 行政院農業委員會。

2.最高消費年及指數為：141.5(1967 年)/134.2＝106(白米)，如是類推。

3.(34)指數為：48.6(2004 年)/141.5(1967 年)，以下類推。

表二十二、臺灣近 8 年進口農產品總值（新台幣百萬元）

年 度	蔬果類	麥 類	玉 米	黃 豆	調製食品飲料菸類	合 計	
						總 值	指 數
1997	80,547	6,849	24,043	24,658	68,520	264,617	100
2001	67,110	6,928	19,782	16,959	69,375	180,154	88
2005	88,942	9,646	23,076	22,765	90,797	235,226	115
平 均	78,866	7,808	22,300	24,461	76,231	206,666	
百分率	38.2	3.8	10.8	10.4	36.9	100	

資料來源 ：行政院國貿局、2005 統計表彙整。

2004 年臺灣糙米折算白米總產值為 976,895kt×33 元＝3,224 億新台幣，5 表 2005 年進口農產品總值 2,067 億元新台幣佔稻之 64.1%，兩者合計之 39.1%。

表二十三、外國的主要食物自給率

	日本	瑞士	西德	英國	法國	美國	加拿大
穀物	32	39	95	111	179	183	222
食用穀物	68	48	104	109	208	312	506
粗粒穀物	2	33	90	114	156	161	138
根 莖 類	96	101	87	95	105	108	114
豆類	8	15	16	51	119	147	118
蔬菜類	95	55	36	66	92	102	74
水果類	76	86	51	18	69	90	31
肉類	81	90	89	78	100	98	110
蛋類	98	51	71	99	105	103	99
牛乳、乳製品	89	106	127	95	116	99	109
魚貝類	97	10	44	73	69	73	309
油脂	32	34	42	13	55	171	100
砂糖	34	42	115	54	179	80	16

資料來源 ：日本農林水產 1984 食物供需表。

表二十四、臺灣地區歷年食米消費量與中老年病死亡情形比較表

類別 / 年齡別	死亡百分比			每人每日白米平均消費量
	腦血管疾病	心 臟 病	高 血 壓	
45 歲	7.2	6.9	—	401 公克
50 歲	7.6	6.7	—	384 公克
55 歲	12.5	6.5	1.8	393 公克
60 歲	15.1	8.4	2.4	380 公克
65 歲	16.1	9.4	3.1	350 公克
70 歲	16.5	8.9	3.7	296 公克
71 歲	16.5	9.3	3.7	281 公克

說明：1.死亡百分比，係指各死因死亡人數，佔全年死亡總人數之百分比

2.各死亡百分比，係由行政院衛生署提供，臺灣省糧食局 1988 。119 頁。

3.每人每日白米平均消費量，係摘自「臺灣地區家庭主要糧食消費研究」

表二十五、男女每日需要之營養量

類　　別	男子（體重 70 公斤）輕度勞動	男子（體重 70 公斤）中等勞動	男子（體重 70 公斤）刻烈勞動	女子體重（56 公斤）中等勞動	1-3 歲兒　童	13-15 歲男　孩	16-20 歲
熱　量（卡）	2,500	3,000	4,500	2,500	1,200	3,200	2,800
蛋白質(公分)	70	70	60	60	60	85	80
鈣　（公分）	1.8	0.5	0.8	0.8	1.0	1.4	1.3
鐵　（公分）	12	12	12	12	11	15	15
維他命 A（國際單位）	5,000	5,000	5,000	5,000	2,000	5,000	5,000
B1（公赫）	1.5	1.8	1.5	1.5	5.6	1.6	1.4
B2（公赫）	2.2	2.7	2.2	2.2	0.9	2.4	2.0
菸鹼素（公赫）	15	18	15	15	6	15	14
維他命C（公赫）	75	75	70	70	35	90	80
維他命 D（國際單位）	可由暴露日光自給	可由暴露日光自給	可由暴露日光自給	可由暴露日光自給	可由暴露日光自給	可由暴露日光自給	可由暴露日光自給

資料錄自：曾耀崐 1991 從米食談米的營養

表二十六、臺灣地區近 10 年來 10 大死亡原因比較（1986/1996）每 10 萬人口死率

死亡原因 1996 年順位		1986 年（民國 75 年）死亡率（順位）	1996 年（民國 85 年）死亡率（增減率）	1996 年 65 歲以上死亡率（順位）
1	惡性腫瘤	85.5（1）	130.4（52.4）%	930.3（1）
2	腦血管疾病	76.8（2）	65.0（-15.3）	627.0（2）
3	事故傷害	63.0（3）	57.9（-8.0）	152.9（7）
4	心臟疾病	51.4（4）	52.6（2.3）	512.5（3）
5	糖尿病	15.3（7）	35.1（128.7）	324.1（4）
6	肝病及硬化	16.3（6）	21.5（29.3）	97.8（10）
7	腎炎及腎變性	11.0（10）	16.5（50.1）	161.7（6）
8	肺炎	12.3（9）	14.9（21.5）	162.2（5）
9	高血壓性疾病	17.3（5）	12.4（-28.4）	132.5（8）
10	支氣管炎、肺氣腫及氣喘	13.7（8）	9.5（-30.5）	100.9（9）

行政院衛生署 1996 一、公務統計 p.125。二、衛生統計 p.7。

表二十七、臺灣地區主要糧食消費在26年（1961-1986）之間變化情形（公克、卡/日/人）

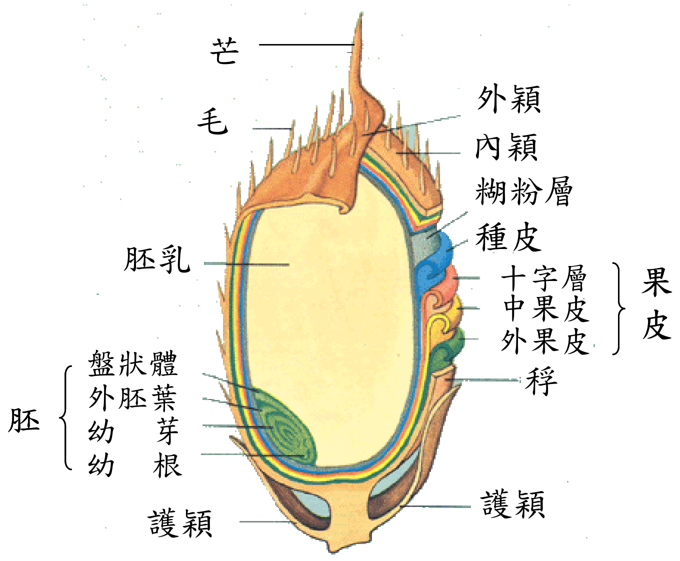
年別	台灣地區				農戶				非農戶			
	白米	麵粉	甘藷	熱量	白米	麵粉	甘藷	熱量	白米	麵粉	甘藷	熱量
1961	383.7	7.6	13.0	1569	411.8	1.3	229.6	1776	350.6	15.0	12.5	1332
1966	392.9	4.1	40.1	1486	461.0	1.9	82.4	1768	337.7	9.5	5.8	1258
1971	380.1	9.3	25.1	1428	456.6	2.7	44.8	1709	326.6	13.9	5.0	1230
1976	350.2	14.8	17.2	1335	425.8	3.9	34.0	1589	310.2	30.6	1.8	1201
1981	295.5	21.9	1.9	1145	348.1	4.2	2.2	1278	310.5	29.1	1.3	1682
1986	231.1	29.9	-	939	287.6	10.5	-	1073	204.1	39.0	-	875
平均	342.4	15.6	-	1327	403.4	5.4	-	1544	3.39	21.2	-	1179
最高 年	1960	1985	1961	1961	1967	1985	1961	1965	1965	1965	1964	1964
最高 量	395.1	32.6	130.0	1569	462.4	12.1	229.6	1985	360.6	40.3	26.7	1368

資料來源：食品成分表

表二十八、世界各國壽命之比較（2004 年）

國家順位		平均	男	女	國家順位		平均	男	女	國家順位		平均	男	女
1	日　本	81.1	78.4	85.6	11	紐西蘭	78.9	76.6	81.2	21	墨西哥	74.3	71.7	76.9
2	瑞　士	80.6	77.7	83.3	12	荷　蘭	78.6	76.0	81.1	22	馬來西亞	72.0	69.6	74.7
3	澳　洲	80.4	77.9	83.0	13	英　國	78.2	75.8	80.5	23	中　國	71.1	69.6	72.7
4	瑞　典	80.4	78.0	82.6	14	美　國	77.3	74.6	79.8	24	沙烏地	70.8	68.4	73.9
5	冰　島	80.1	78.4	81.8	15	古　巴	77.1	75.6	79.3	25	土耳其	70.0	67.9	72.2
6	法　國	79.8	76.0	83.6	16	愛爾蘭	77.1	74.4	79.8	26	泰　國	69.3	46.0	72.7
7	加拿大	79.8	77.2	82.3	17	智　利	76.7	73.4	80.0	27	伊　朗	68.9	66.5	71.7
8	義大利	79.7	76.8	82.5	18	臺　灣	76.0	73.0	79.0	28	巴　西	68.9	65.7.	72.3
9	伊色列	79.4	77.3	81.4	19	韓　國	75.5	71.8	79.4	29	埃　及	67.1	65.3	69.0
10	挪　威	79.1	76.4	81.7	20	阿根延	74.4	70.8	78.1	30	蘇　俄	64.6	58.3	71.8

資料來源：WHO. The worlt health report 2004, 日本厚生勞働省「簡易生命表」



圖一、稻穀之構造

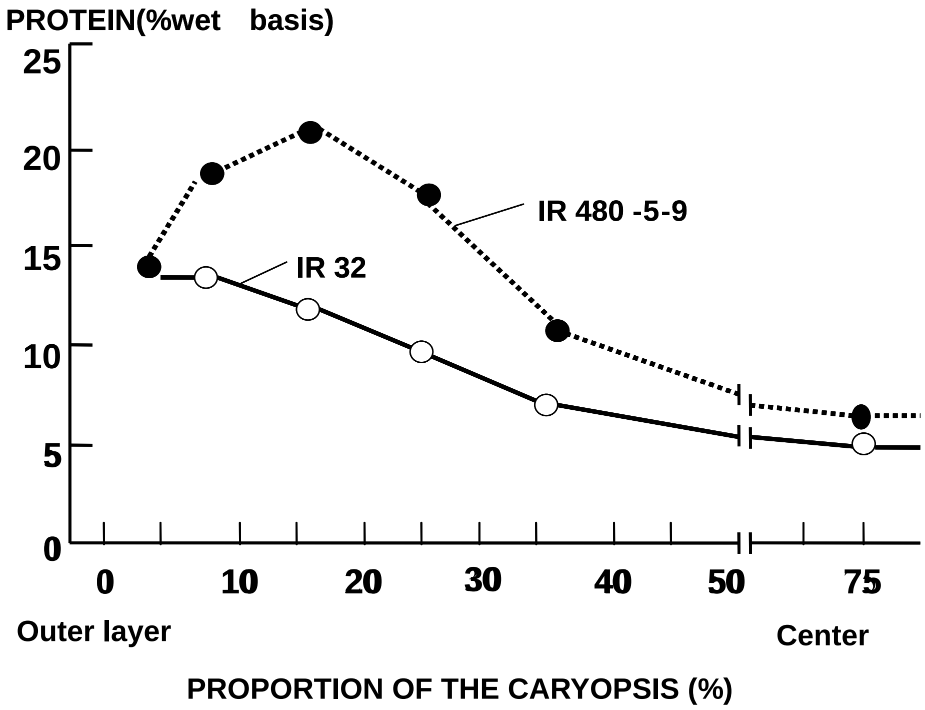
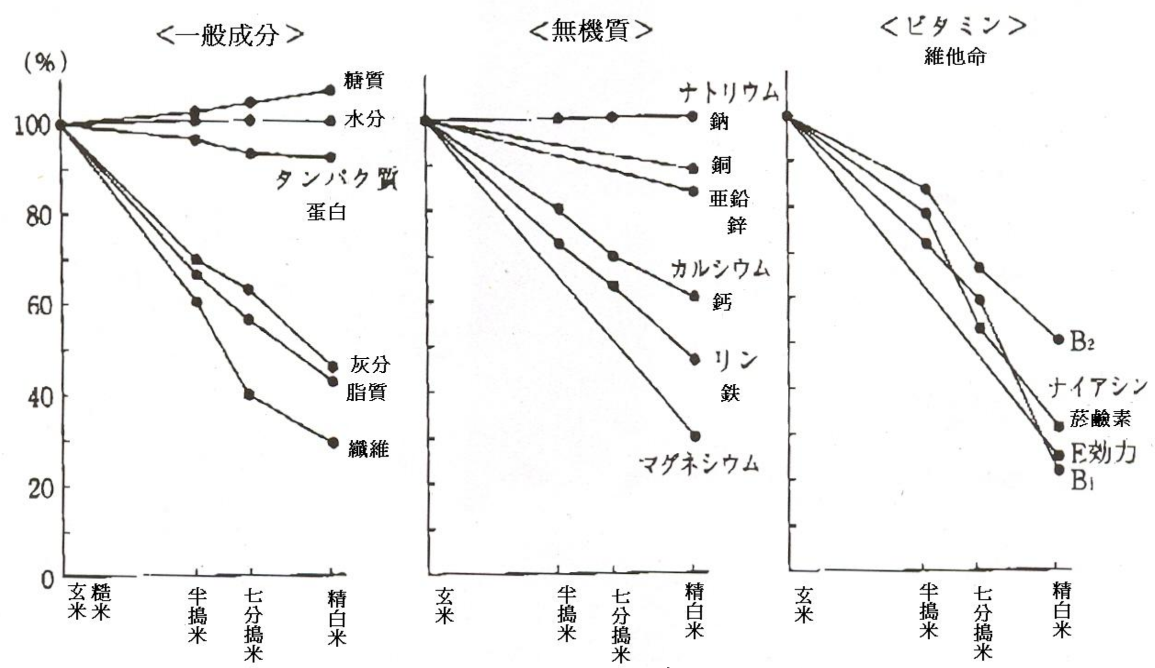
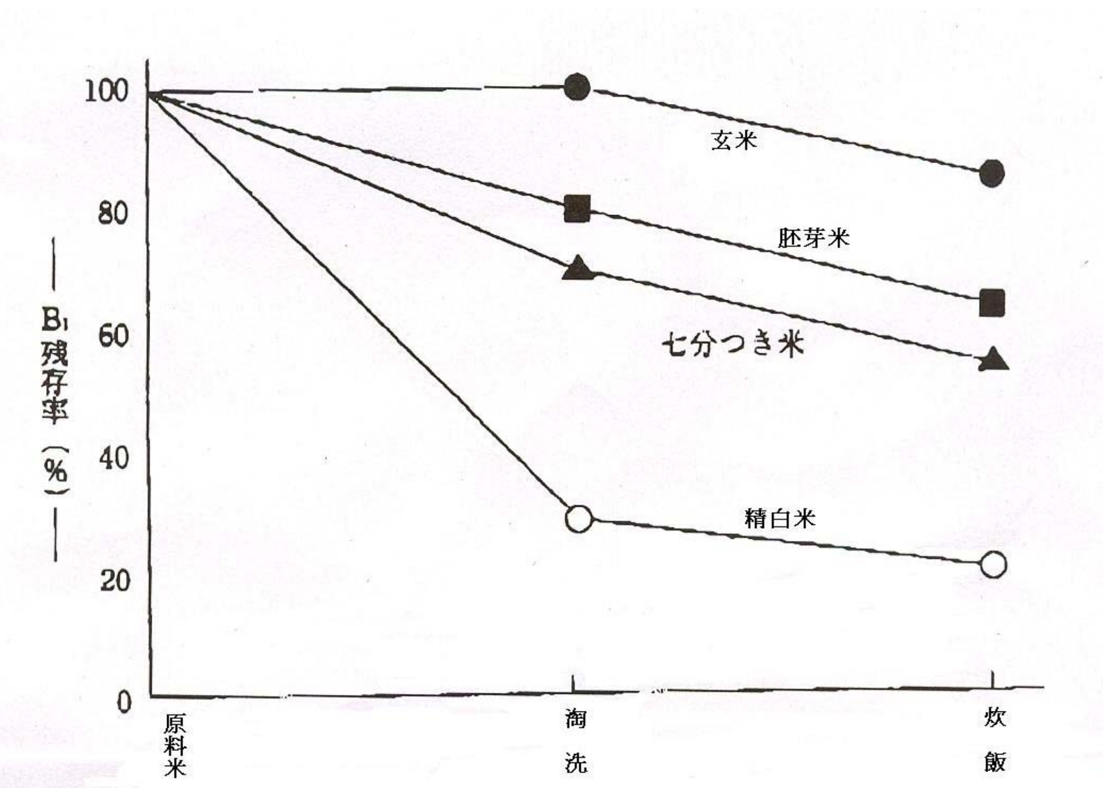


Figure 二、 Protein distribution in milling fractions from brown rice of low protein (7.4%) rice IR32 and high protein (10.7%) rice IR480-5-9 (Muteis and Juliano 1977)

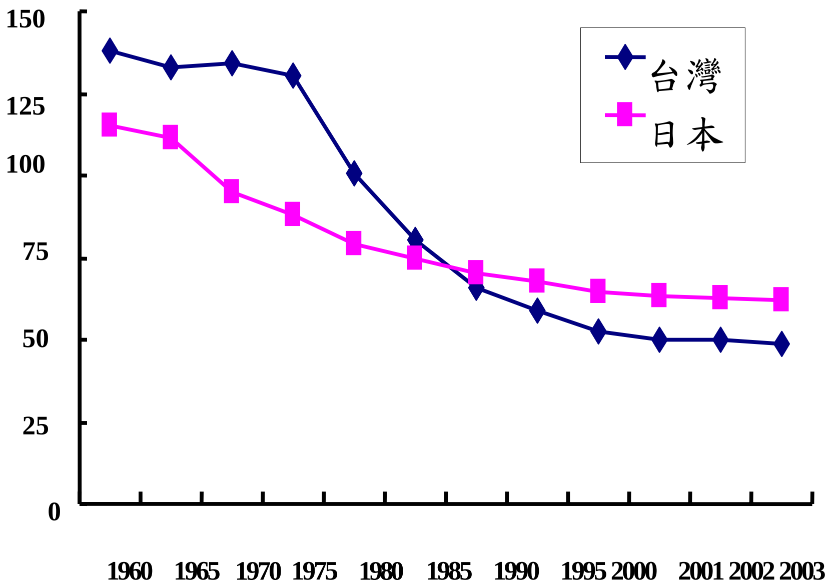


圖三、日本糙米、五分、七分搗米之營養成分比率(糙米含量為 100%)

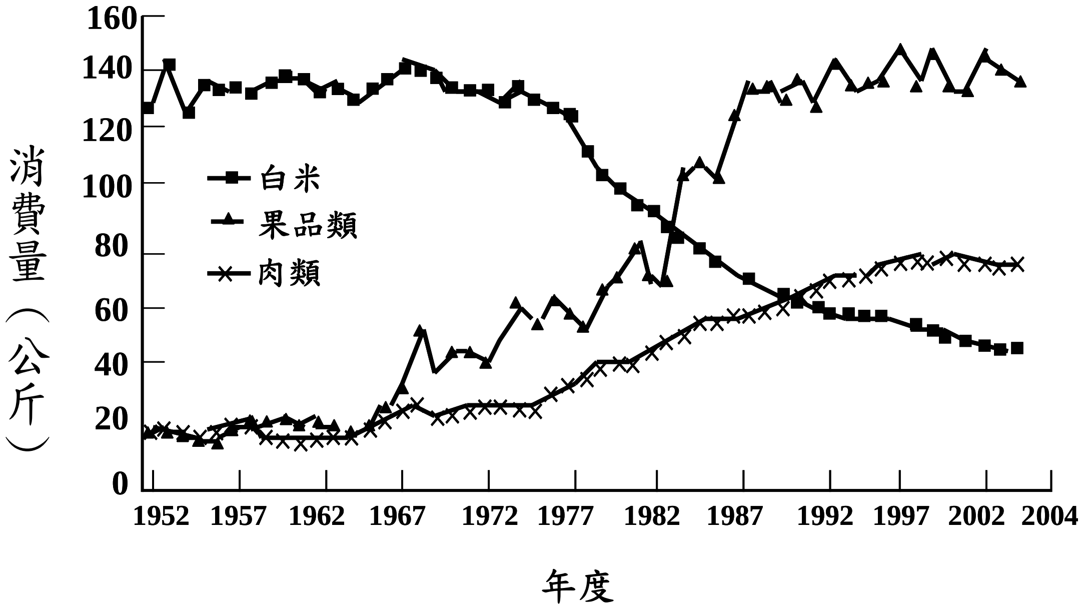


圖四、日本白米經淘洗與炊飯後維他命 B1 之殘存率 (資源協會 1994)
資料來源：森本喜代 1971

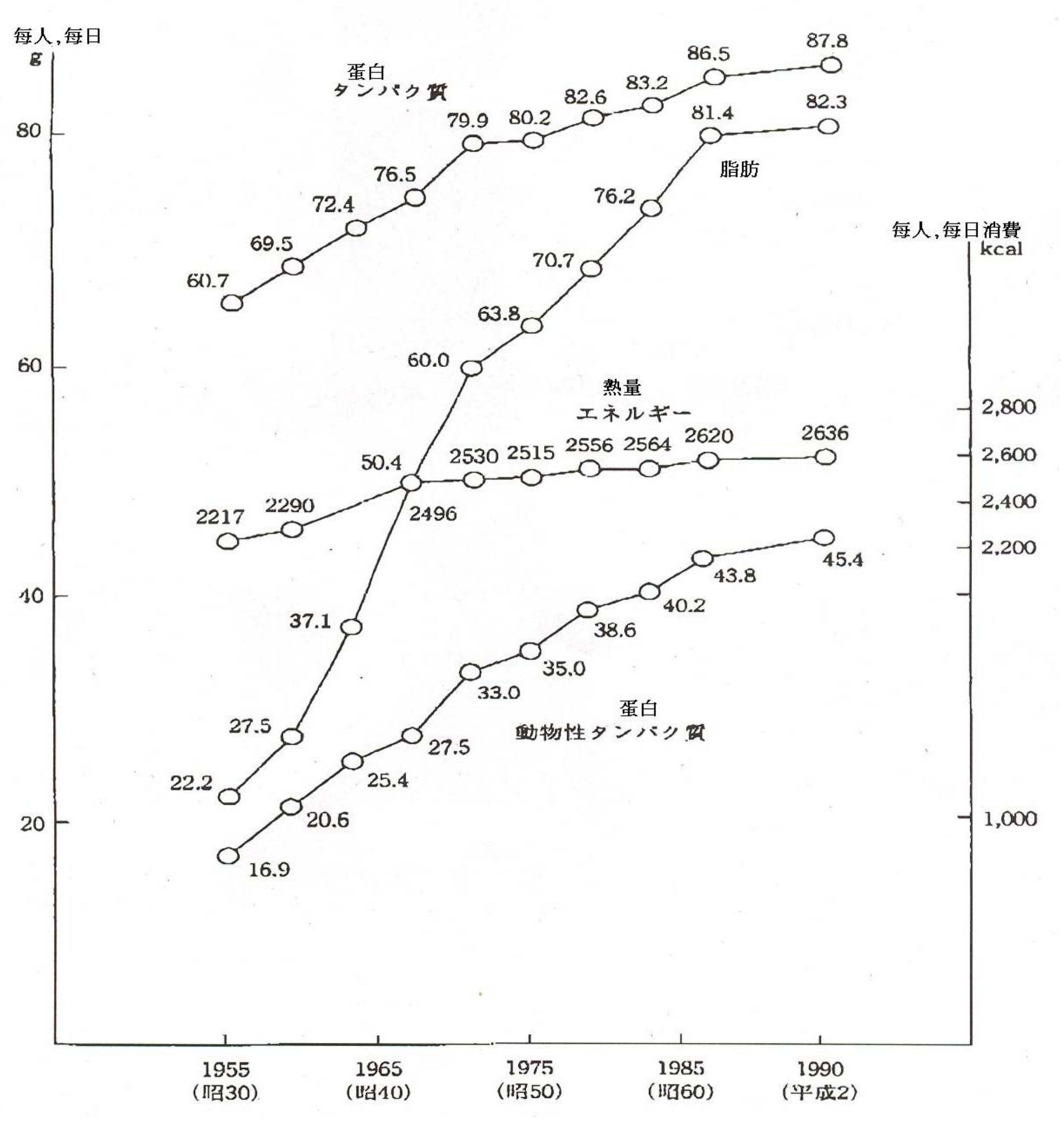
年度	台灣	日本
1960	137.7	114.9
1965	132.9	111.7
1970	134.4	95.1
1975	130.4	88.0
1980	100.8	78.9
1985	80.2	74.6
1990	65.9	70.0
1995	59.1	67.8
2000	52.7	64.4
2001	50.1	63.6
2002	50.0	62.7
2003	49.1	61.9



圖五、日本與台灣每人每年白米消費量比較

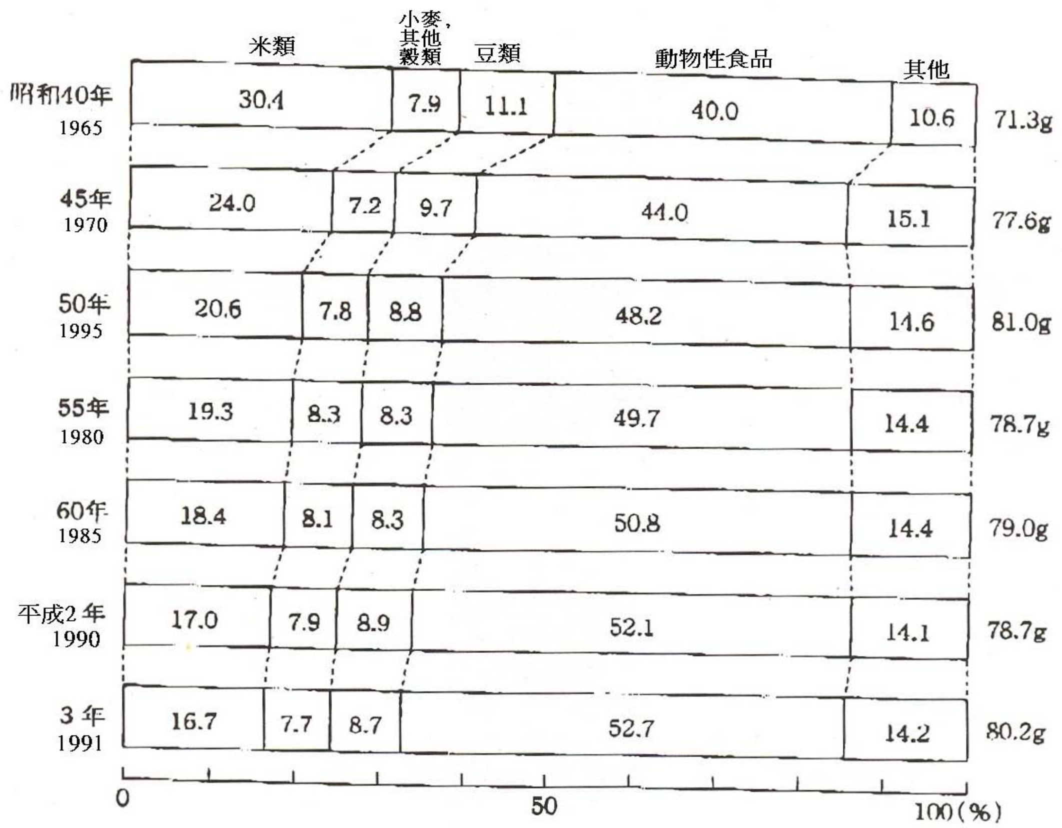


圖六、國人白米、果品與肉類消費量變化圖

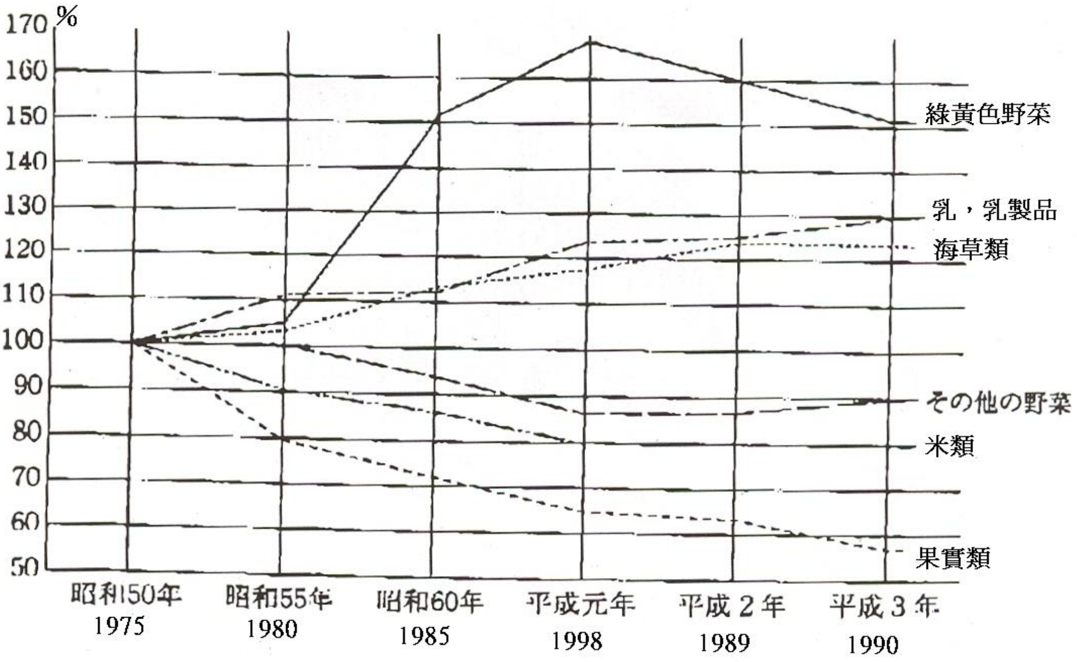


圖七、日本 35 年中每人每日對熱量、蛋白質及脂肪消費量變化

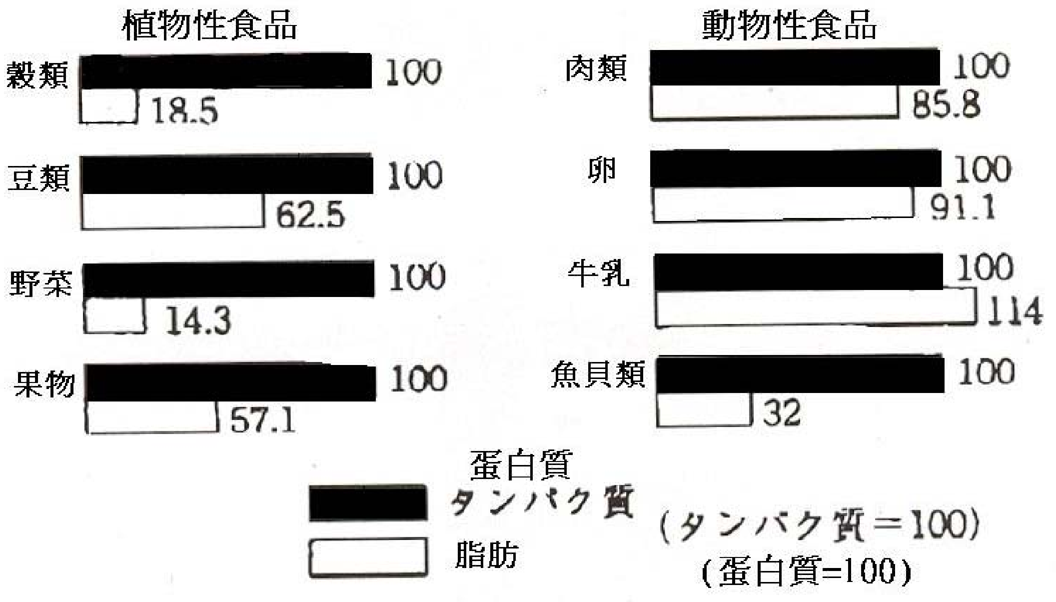
資料來源：食料需給表より作成　(資源協會 1992. p8)



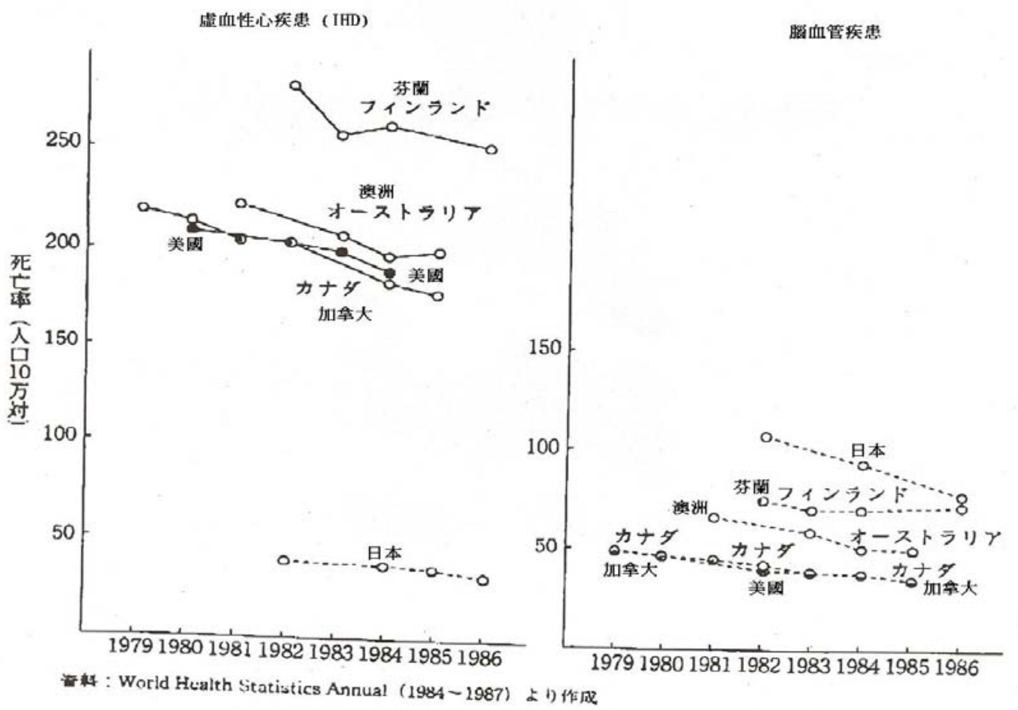
圖八、日本人攝取蛋質質食品類之分量(公克)及百分率 (1965-1991)
資料來源：日本資源協會 1992. p16



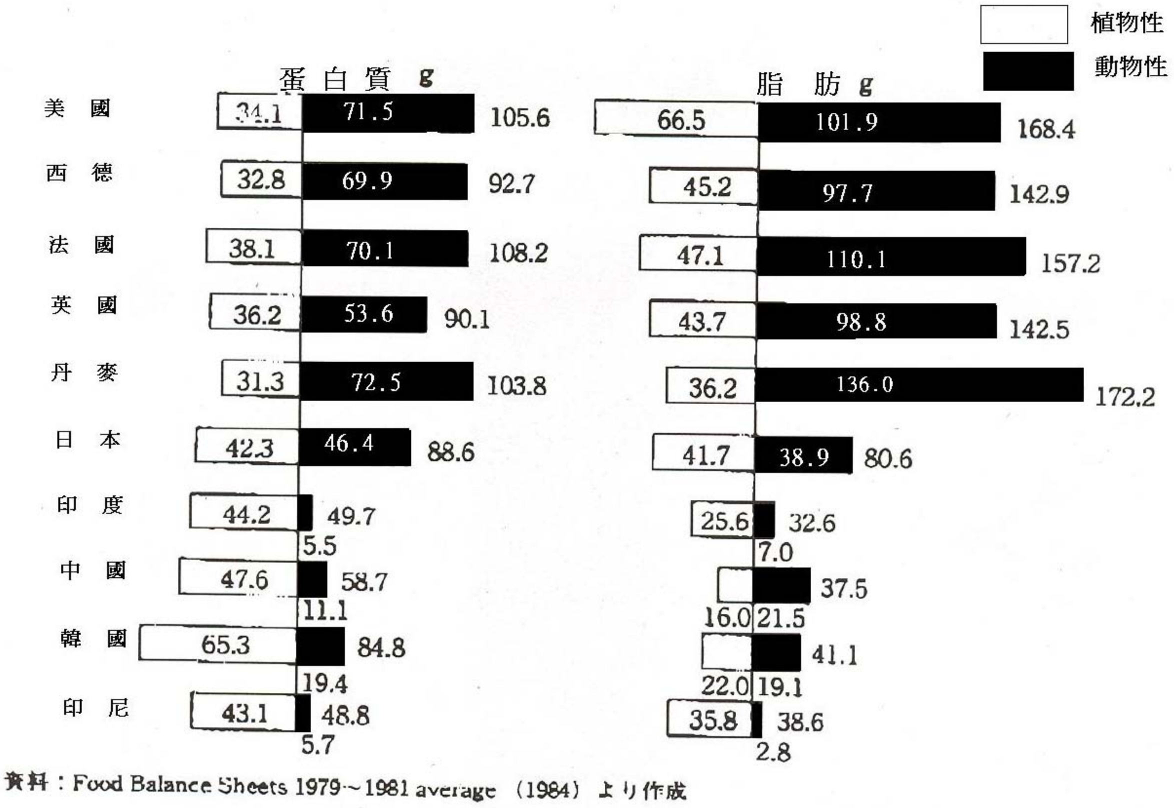
圖九、日本人在 1975-1990(15 年)間攝取量較多之食品類變化
資料來源：日本資源協會 1992. p39



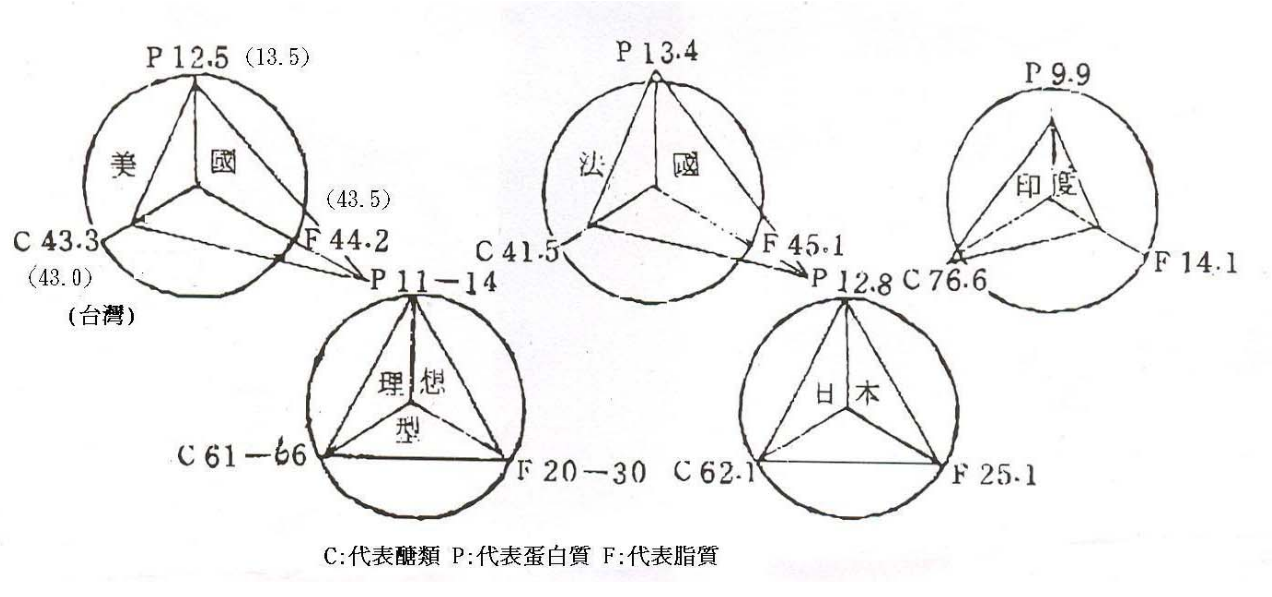
圖十、日本各食品類蛋白質與脂肪含量比率 (資源協會 1994)
資料來源：食料需給表より作成



圖十一、五國男性之虛血性心臟病及腦血管疾病死亡率變化 (1979-1986)



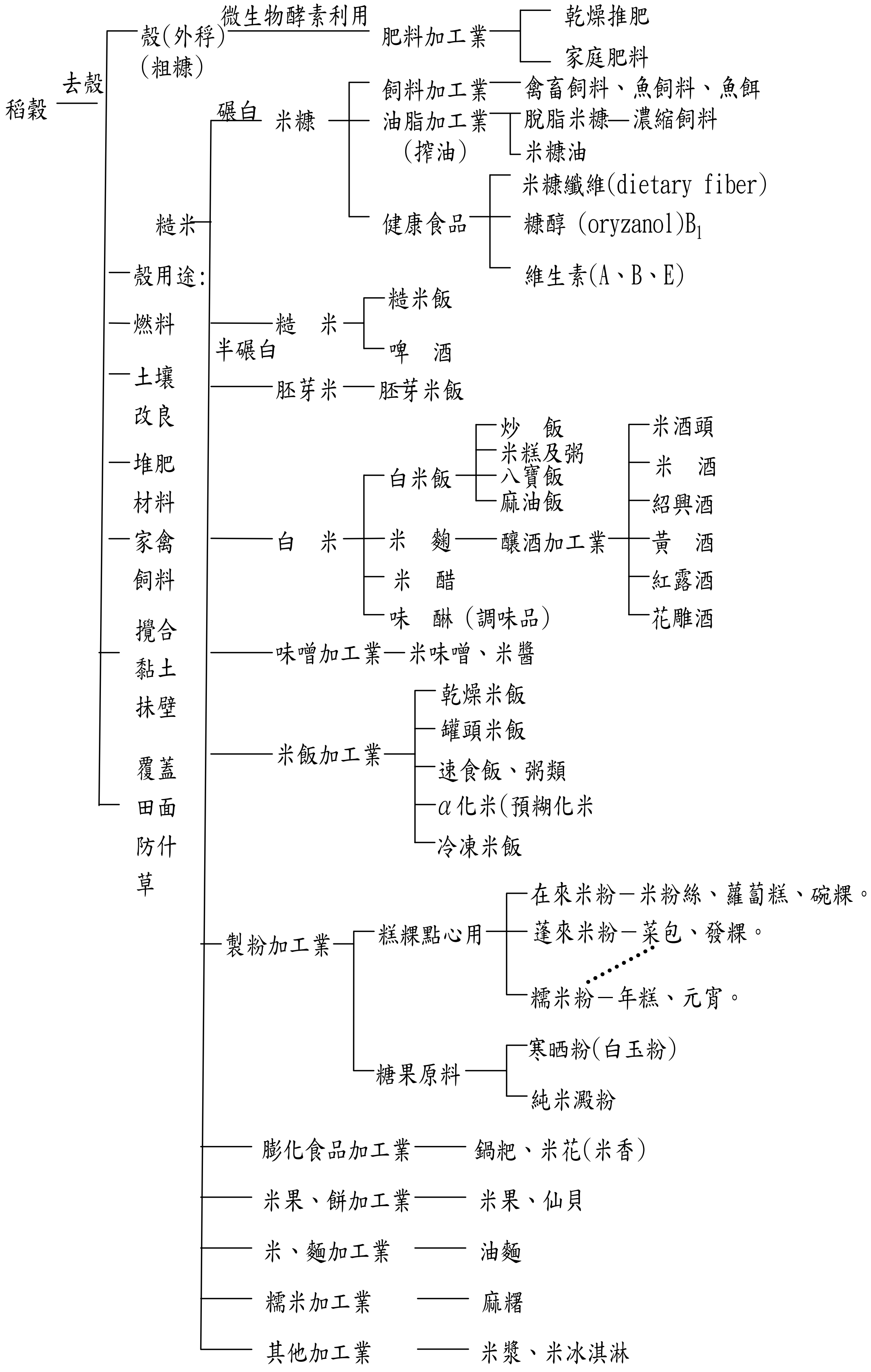
圖十二、亞洲與歐美地區每人每日消費蛋白質及脂肪量 (公克)



圖十三、世界主要國家及理想的國民攝食Ｃ・Ｆ・Ｐ熱量比

資料來源：台灣省政府糧食局 1988. p118

圖14、稻米加工利用圖（資料自台灣糧食局19號修訂）



參考文獻

小田一郎。1991。 Data book. 世界之米。農山漁村文化協會。

日本農林水產省。 2005。食料需給表。

白弘之著。謝森展譯。1991。地球環境報告，國際美育自然生態基金會印。

行政院農業委員會。1991。米食推廣及均衡營養研討會.。1-53 頁。

行政院衛生署。 1996。衛生統計一、公務統計，二、生命統計。

臺灣省政府農林廳。1999。臺灣稻作發展史。中華農藝學會。豐年社編印。259-329 頁。681-699 頁。

臺灣省政府糧食局。1988。 米食飄香健且美。

李雲鵬。1987。素食、健康、長壽。1-69 頁天藥編輯部編印。

邱再發。 林慶喜。1972。 花蓮石灰質土壤之水稻生理病之植物營養學研究。(I) 水稻之鋅缺乏。中華農學會報.(80) 66-76 頁。

日本社團法人資源協會及食品養分調查研究所。 1990。 食與營養之健康學。農村統計協會編印。

張學琨。1998 (I)。水稻栽培管理技術及環境改進效果之研究。張學琨論文集第一集。92-217 頁。 桃園區農業改良場編印。

張學琨。 1998 (II)。 稻田地力及其他作物生產技術改進與永續農業之研究。張學琨論文集第二集 稻田地力改進與栽培技術改善。1-128 頁。桃園區農業改良場印。

張學琨。1998。 臺灣稻米產銷對環境之影響。中華農業氣象。Vo1. 5-2。61-68 頁。

厚生勞働省。2002。 簡易生命表及完全生命表。 表.23 及 24。

黃郁卿。1994。 致力米食文化的保存與推廣。桃園區農業改良場場長張學琨專訪。行政院農業委員會出版。尋找台灣農業生命力。 11-20 頁。

森木喜代等。 1971。 調理與維他命。204 頁。日本建儒社。

森下敬一。 1995。 鋅-男人的礦物質。廖海珠譯。 青春出版社印。

謝明哲。 1991。 三餐離不開也不厭的米飯。 米食推廣及均衡營養研討會。行政院農業委員會。臺灣省糧食局。

橘本明子。 1990。增進米類膳食維護水田。アースデイ日本編。116-117 頁。

關矢信一郎。 1992。 水田的生態生活功能。社團法人家の光協會印。

龜谷是及堀田忠夫。 1991。 稻米產業的國際比較。 養賢堂出版。

FAO, 1982 Food Balance Sheets in India.

Lockhart, H. B. and R. O. Nesheim. 1978. Nutritional quality of cereal

grains. P201-221. In cereals 98.

Lub, Bor S. 1991. Rice production. second Edi Vol. 1. Van Nostraud Reinhold.

Martin. J.H. & Leonard, W.H.. 1964. Principles of field crop production Macmillan comp. New York.

OECD. 1982. Food Consumption Statistics in USA.

U.S. Department of Agriculture. 1939. Yearbook.

國家圖書館預行編目資料

生物技術與綠色農業研討會專刊/林俊義、戴振耀、蔡武雄、廖慶樑主編
初版－臺中縣霧峰鄉：行政院農業委員會農業試驗所、中華永續農業協會
2006【民 95】
178 面：19x26 公分--（行政院農業委員會農業試驗所特刊；第 127 號）
ISBN 978-986-00-8451-1（精裝）
1. 生物技術-論文，講詞等
2. 永續農業-論文，講詞等

361.907 095026135

生物技術與綠色農業研討會專刊

發行人：林俊義
出版者：行政院農業委員會農業試驗所、中華永續農業協會
主　編：林俊義、戴振耀、蔡武雄、廖慶樑
執行編輯：簡宣裕、張明暉、劉禎祺
地址：臺中縣霧峰鄉中正路 189 號
電話：04-23302301
網址：http：//www.tari.gov.tw
承印者： 世泓興業有限公司
地　址：臺中市國光 373 號　　電話：04-22850137
展售處：國家書坊台視總店
臺北市八德路三段 10 號　02-25781515 轉 284
五南文化廣場
臺中市中山路 6 號　04-22260330 轉 27
出版年月：2006 年 12 月
版次：初版
ISBN-13：978-986-00-8451-1
ISBN-10：986-00-8451-1
GPN：1009504356

售價：新臺幣 150 元整

TARI LIB.
C005909

版權所有　翻印必究

96. 5. -2

統 一 編 號
1009504356

ISBN 986008451-1
9 789860 084511